

PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS EN SUELOS PREDOMINANTES DEL NOROESTE DE SANTA FE Y SUR DE SANTIAGO DEL ESTERO, ARGENTINA

GERMÁN ROBERTO REVELLI^{1,2(*)}; ROBERTO CLAUDIO GAGLIARDI²; OSCAR ALBERTO SBODIO³
& ESTEBAN JUAN TERCERO³

1 Laboratorio Integral de Servicios Analíticos (L.I.S.A.). S2340ALB Ceres, Santa Fe, Argentina

2 Cooperativa Tambara y Agropecuaria Nueva Alpina Ltda. Ceres, Santa Fe, Argentina

3 Instituto de Tecnología de Alimentos (I.T.A.). Casilla de Correo 266, Santa Fe, Argentina.

* Correo electrónico: lisa@cotana.com.ar

Recibido: 09-02-10

Aceptado: 25-08-10

RESUMEN

Un total de 175 muestras de suelos fueron recolectadas en la zona noroeste de Santa Fe y sur de Santiago del Estero durante el período 2001-2009. Se realizaron análisis fisicoquímicos (pH, Nitrógeno Total, Nitrógeno Nitrato, Nitrato, Fósforo, Potasio, Azufre y Materia Orgánica) con el objetivo de categorizar las mismas en función a su calidad y aptitud para uso agrícola-ganadero. El perfil de los suelos analizados destaca deficiencias en Nitrógeno ($\text{NT} = 0,127 \pm 0,032\%$, $\text{N-NO}_3^- = 13 \pm 10,349 \text{ mg kg}^{-1}$ y $\text{NO}_3^- = 56 \pm 45,830 \text{ mg kg}^{-1}$) y un potencial de hidrógeno levemente ácido ($\text{pH} = 6,4 \pm 0,623$), observándose una marcada tendencia a aumentar la acidificación en los últimos años. La fertilización equilibrada adquiere importancia estratégica a la hora de obtener óptimos rendimientos en los suelos de la zona, y la incorporación de prácticas de manejo conservadoras tales como labranza reducida, aumento de materia orgánica y rotación de cultivos son fundamentales para el desarrollo sostenible de la región.

Palabras clave. Caracterización zonal, acidificación de suelos, fertilización equilibrada.

PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF PREDOMINANT SOILS IN NORTHWESTERN SANTA FE AND SOUTHERN SANTIAGO DEL ESTERO PROVINCES, ARGENTINA

ABSTRACT

In recent years, there has been an increasing interest in evaluating soil quality and health. The resource soil is a fundamental component of the biosphere, participating in the production of food, fibers and energy and consequently impacting on the environmental quality. The indiscriminate expansion of agriculture added to the inadequate management in many areas has led to the deterioration of soil structure and to the consequent reduction in organic matter levels, affecting the soil chemical and physical fertility. A total of 175 soil samples were collected in the northwestern area of Santa Fe and in the southern part of Santiago del Estero provinces during the 2001-2009 period. Physicochemical analyses were carried out (pH, Total Nitrogen, Nitrate- Nitrogen, Nitrate, Phosphorus, Potassium, Sulfur and Organic Matter) with the objective of categorizing the soil samples according to fertility and aptitude for agricultural-cattle use. In general, soil samples were deficient in Nitrogen ($\text{TN} = 0.127 \pm 0.032\%$, $\text{N-NO}_3^- = 13 \pm 10.349 \text{ mg kg}^{-1}$ and $\text{NO}_3^- = 56 \pm 45.830 \text{ mg kg}^{-1}$) and had a lightly acidic hydrogen potential ($\text{pH} = 6.4 \pm 0.623$), showing a greater acidification trend in recent years. A balanced fertilization program is of strategic importance when seeking optimum yields in these areas. The adoption of conservative management practices such as minimum tillage and crop rotation are fundamental for sustainable agricultural development in the region.

Key words. Zonal characterization, soil acidification, balanced fertilization.

INTRODUCCIÓN

El suelo se define como un cuerpo dinámico natural compuesto de elementos minerales, orgánicos y de microorganismos (USDA-NRCS, 2006).

En los últimos años se ha incrementado el interés en evaluar la calidad y la salud del recurso suelo debido a que es un componente fundamental de la biósfera, cumpliendo funciones en la producción de alimentos, fibras y energía, como así también en el mantenimiento de la calidad ambiental (Doran & Zeiss, 2000; Gil-Sotres *et al.*, 2005).

El punto crítico resulta la explotación intensiva del suelo en pos de obtener máximos beneficios en el corto plazo, no aplicando estrategias de conservación del recurso que garanticen el mantenimiento de su capacidad de uso, donde la erosión o la degradación producida resultan incompatibles con los intereses del orden público a largo plazo (SAGyP-CFI, 1995; Cursack & Travadelo, 1997).

Este proceso de agriculturización creciente, en muchas situaciones desmedido, sumado al manejo inadecua-

do de las tierras, ha conducido al deterioro de la estructura del suelo y a la consecuente reducción en el nivel de materia orgánica, con una marcada disminución de la fertilidad física y química (Salinas-García *et al.*, 1997; Ferreras *et al.*, 2007).

Por este motivo, es fundamental investigar los recursos naturales relacionados a la actividad agropecuaria, generando conocimientos sobre los distintos ambientes intervenidos por el hombre y definir sobre esta base el adecuado manejo de los factores controlables y el desarrollo de nuevas tecnologías (Pereira dos Santos *et al.*, 2000).

Las decisiones humanas como ubicación de los cultivos, sistemas de labranza, aplicación de pesticidas y fertilizantes, pueden hacer sentir sus efectos a mayor escala (Solbring & Viglizzo, 1999; Gutiérrez & Arregui, 2000), y a la vez controlan patrones geográficos predecibles de ciclos y flujos de energía, nutrientes y agua, a partir de diferencias en la geomorfología, el clima y la calidad de las tierras (Wagenet, 1998; Bonel *et al.*, 2005).

Los distintos sistemas de labranza producen diferentes efectos respecto de la conservación del suelo, que a su vez dependen de las características estructurales, de la topografía y del clima. Son asociados también con los rendimientos productivos, los cuales condicionan fuertemente el ingreso de la explotación, y a nivel privado, la selección de cultivos, su ubicación en el plan de rotación y el método de trabajo utilizado son variables muy importantes de decisión.

En la Argentina, diversos autores han estudiado el impacto del proceso de degradación de los suelos como consecuencia de la intensificación de las actividades agrícolas (Pilatti *et al.*, 1988; Casanovas *et al.*, 1995; Urricariet & Lavado, 1999; Micucci & Taboada, 2006; Sánchez *et al.*, 2006) afectando especialmente el sector norte de la Región Pampeana, y en mayor medida como consecuencia del uso de sistemas de labranza agresivos. Sumado a esto, el monocultivo de soja o la secuencia trigo/soja ha provocado un significativo deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas, incrementando la superficie afectada por procesos erosivos y de degradación (Buschiazio *et al.*, 1998; Micucci & Taboada, 2006).

Los sistemas de manejo sustentables para las tierras agrícolas generalmente se basan en prácticas conservadoras tales como labranza reducida, incorporación de materia orgánica y rotación de cultivos (Pankhurst *et al.*, 1995), y la implementación de siembra directa, es decir la no labranza del suelo, contribuye en general a mantener o incrementar el carbono orgánico mejorando sus propiedades (Franzluebbers *et al.*, 1999; Dexter, 2004).

La calidad de los suelos del norte de Santa Fe fue estudiada por Heredia *et al.* (2006) y el efecto de las secuencias de cultivos y labranzas sobre las fracciones de car-

bono en un Torriortent típico de Santiago del Estero fue evaluado por Sánchez *et al.* (2006).

En el área noroeste de Santa Fe y sur de Santiago del Estero, Revelli *et al.* (2002) investigaron el recurso agua y su impacto en vacas lecheras, relacionando parámetros productivos, composicionales y reproductivos, y un reciente trabajo realizado en la zona de Colonia Alpina, Santiago del Estero, reveló que el 75% de los productores utilizan siembra directa, infiriendo el 25% restante aplicar técnicas de labranza convencional. El 60% de los encuestados mencionaron importantes cambios en los suelos con pérdidas en su capacidad de producción, y al ser comparados suelos con distintas actividades productivas versus una situación quasi-prístina, se observó una diferencia significativa en materia orgánica (2,65, 2,90 y 3,50% para agricultura, ganadería y monte, respectivamente) (Nari & Bertorello, 2008).

El objetivo de esta experiencia fue analizar propiedades fisicoquímicas en suelos predominantes del noroeste de Santa Fe y sur de Santiago del Estero, con el fin de corregir limitantes productivas mediante el uso de la fertilización equilibrada.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio comprende las localidades de Suardi, San Guillermo, Colonia Rosa, Colonia Ana y Ceres (provincia de Santa Fe), y Colonia Alpina y Selva (provincia de Santiago del Estero) delimitada entre una latitud de 29°46'S – 30°32'S y una longitud de 61°54'W – 62°6'W (Fig. 1).

Posee un clima cálido con una temperatura media anual de 19,0 °C (variación NS = 1,5 °C) y la precipitación media anual es de 1.025 mm (variación WE = 75 mm), concentrada en verano y otoño (aprox. el 70%) con una estación seca en invierno.

La mayoría de los suelos analizados corresponden a la zona XIV subzona C según la Red de Información Agroeconómica para la Región Pampeana (RIAN-RIAP) (Giorgi *et al.*, 2008). Con una superficie de 739.000 ha, comprende la región occidental del departamento San Cristóbal, provincia de Santa Fe, la cual posee un relieve plano extendido con suelos Argiudoles típicos, textura franco limosa, bien a moderadamente bien provistos de materia orgánica y medianamente ácidos. El nivel freático se ubica normalmente por debajo de los 10 m de profundidad. El desarrollo de los horizontes argílicos produce restricciones moderadas. Estos suelos se presentan como totalmente dominantes sólo en los sectores con mejor escurrimiento, pero en general forman complejos con Argiudoles ácuicos y Argialboles típicos. En las cañadas predominan Natracualfes típicos, textura franco limosa, pobres en materia orgánica y reacción ligeramente ácida. Hacia el oeste de Colonia Alpina, departamento Rivadavia, provincia de Santiago del Estero, se encuentran Haplustoles típicos y Argiustoles típicos, textura franco limosa, bien a medianamente bien provistos de materia orgánica y reacción medianamente a débilmente ácida (Hein & Panigatti, 1986).

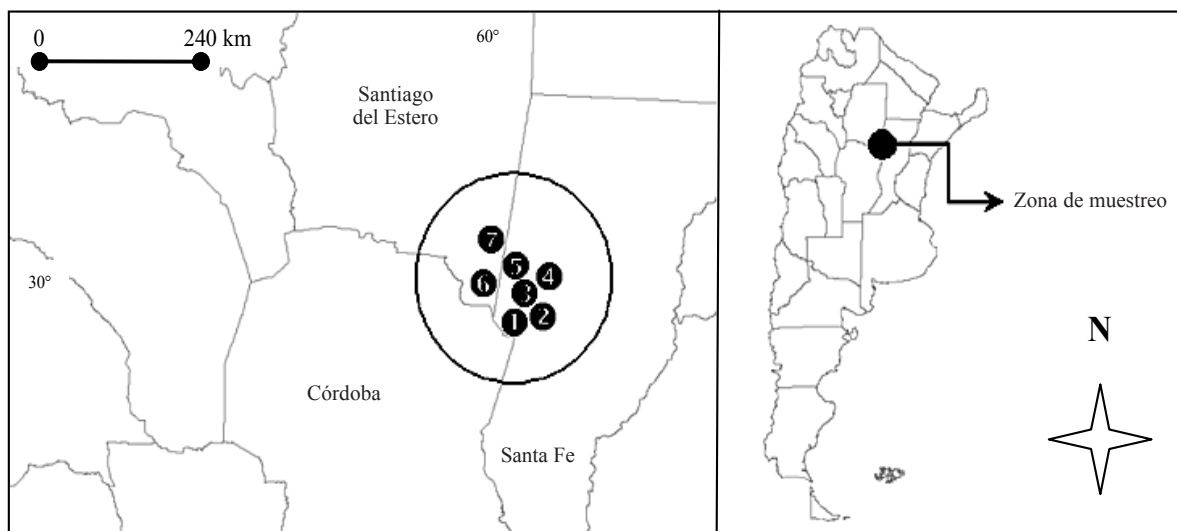


Figura 1. Mapa del área de estudio. 1 Suardi, 2 San Guillermo, 3 Colonia Rosa, 4 Colonia Ana, 5 Ceres, 6 Colonia Alpina y 7 Selva ($29^{\circ}46'S - 30^{\circ}32'S / 61^{\circ}54'W - 62^{\circ}6'W$).

Figure 1. Map of the area of study. 1 Suardi, 2 San Guillermo, 3 Colonia Rosa, 4 Colonia Ana, 5 Ceres, 6 Colonia Alpina and 7 Selva ($29^{\circ}46'S - 30^{\circ}32'S / 61^{\circ}54'W - 62^{\circ}6'W$).

En el área predomina la ganadería intensiva (tambo e invernada, sobre pasturas base alfalfa), con participación de la agricultura en las tierras de capacidad productiva alta y media, y de la cría en las de baja aptitud. Los principales cultivos agrícolas son alfalfa, maíz, soja y trigo, pero se presentan diferencias locales, como la inclusión de sorgo, girasol, avena y moha (Giorgi *et al.*, 2008).

Se recolectaron durante el período 2001-2009 un total de 175 muestras de suelos correspondientes a la zona noroeste de Santa Fe y sur de Santiago del Estero, Argentina.

Con el objetivo de evaluar las propiedades fisicoquímicas (pH, Nitrógeno Total, Nitrógeno Nitrítico, Nitrato, Fósforo, Potasio, Azufre y Materia Orgánica), se investigaron muestras compuestas de 0 a 20 cm de profundidad, con un contenido de humedad entre 14 y 24%, utilizando bolsas plásticas para su posterior almacenamiento y envío al laboratorio.

El diseño experimental, contempló además monitorear 10 establecimientos productivos asociados a la Cooperativa Tambara y Agropecuaria Nueva Alpina Ltda., considerados tambos representativos de la zona, ubicados en un sector geográfico de no más de 20 km de radio de la localidad de Colonia Alpina ($30^{\circ}4'S - 62^{\circ}6'W$). Fueron analizados con una frecuencia anual, permitiendo observar la evolución de los parámetros estudiados durante el tiempo de duración de la experiencia.

En el laboratorio las muestras se acondicionaron manualmente extrayéndose restos vegetales que pudiesen arrojar errores en los resultados, siendo luego desmenuzadas a mano, secadas en estufa a menos de $60^{\circ}C$ y tamizadas con un tamiz de 2 mm de abertura de malla.

Las metodologías analíticas aplicadas fueron: pH por Potenciometría en una relación suelo/agua: 1:2,5 con un HACH

Pocket Pal™ pH Tester, Conductividad sobre extracto de saturación por Water Quality Checker U-10 Horiba (Kyoto, Japan), Nitrógeno Total por Kjeldahl Foss Tecator (Höganäs, Sweden), Nitrógeno Nitrítico, Nitrato, Fósforo y Potasio por NPK-1 Soil Test Kit HACH COMPANY (Loveland, USA), Azufre por Turbidimetría y Materia Orgánica empleando el Método Walkley y Black de digestión húmeda del carbono orgánico.

El tratamiento estadístico de los datos fue realizado con el programa SPSS for Windows. Release 12.0.0 (2003), utilizando los módulos Descriptive Statistics (Estadística Descriptiva), Correlate (Correlación de Matrices) y Nonparametric Tests (Estadística Inferencial – Test de Hipótesis) (Snedecor & Cochran, 1977).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La caracterización fisicoquímica general de los suelos analizados (número de observaciones, valores medios, desvíos estándares, intervalos de confianza y valores máximos y mínimos) se muestra en la Tabla 1.

El análisis de la Tabla 1 ($n = 175$), indica valores medios de pH levemente ácidos ($pH = 6,4 \pm 0,623$) con niveles medios de nitrógeno muy deficitarios ($NT = 0,127 \pm 0,032\%$, $N-NO_3^- = 13 \pm 10,349 \text{ mg kg}^{-1}$ y $NO_3^- = 56 \pm 45,830 \text{ mg kg}^{-1}$). Estos resultados son comunes en los suelos de la región, lo cual infiere la importancia estratégica de fertilizar con nitrógeno (urea en la mayoría de los casos es el producto más aplicado) con el objetivo de lograr mejorar

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas de los suelos analizados.

Table 1. Physicochemical properties in the analyzed soils.

	n	V.M.	D.E.	I.C. ¹	V. Mínimo	V. Máximo
pH	175	6,4	0,623	6,4-6,5	5,4	8,4
Nitrógeno Total (%)	175	0,127	0,032	0,123-0,132	0,057	0,251
Nitrógeno Nitrico (mg kg ⁻¹)	175	13	10,349	11-14	2	82
Nitrato (mg kg ⁻¹)	175	56	45,830	49-63	9	363
Fósforo (mg kg ⁻¹)	175	71	38,163	65-77	7	198
Potasio (mg kg ⁻¹)	175	427	269,915	386-467	105	1.872
Azufre (mg kg ⁻¹)	175	42	70,602	23-61	2	445
Materia Orgánica (%)	175	2,78	0,720	2,65-2,91	1,00	5,72

¹Intervalo de Confianza 95%.

los rendimientos de los cultivos agrícolas principales (Fontanetto *et al.*, 2003; Pilatti & Orellana, 2007).

El valor medio de fósforo ($P = 71 \pm 38,163 \text{ mg kg}^{-1}$) es elevado y óptimo para todos los cultivos, observándose una variación geográfica según el punto de toma de muestra, con una disminución de este elemento hacia el este de la zona en estudio (depressiones del Río Salado).

Concentraciones medias de $427 \pm 269,915 \text{ mg kg}^{-1}$ de potasio y $42 \pm 70,602 \text{ mg kg}^{-1}$ de azufre fueron halladas en la experiencia.

La materia orgánica con un promedio de $2,78 \pm 0,720\%$ es moderadamente baja, característica de los suelos típicos de la zona, y levemente superior a los datos reportados en la región centro-oeste de la provincia de Santa Fe por Zen *et al.* (2009).

La conductividad eléctrica presentó una amplia variabilidad comprendida entre 0,111 y 31,400 mS/cm. Es importante aclarar que este parámetro se realizó fundamentalmente en suelos pobremente drenados salinosódicos del sector correspondiente a la zona de bajos denominada «Saladillo» (bañados y esteros asociados al Río Dulce y la Laguna Mar Chiquita).

En la Figura 2 se muestran los bloques de distribución con las curvas normalizadas de todos los parámetros de suelos analizados en el estudio.

Aplicando el test de bondad de ajuste de Chi-Square (χ^2), se observa que todos los parámetros estudiados presentan distribución normal a nivel de ($\alpha = 0,1$).

Correlacionando el total de análisis realizados ($n = 175$) los resultados más significativos ($p < 0,01$) resultaron para: Nitrógeno Nitrico vs. Nitrato ($r = 1,000$), Nitrógeno Total vs. Materia Orgánica ($r = 0,920$) y Nitrógeno Total vs. Nitrato ($r = 0,581$).

El monitoreo en 10 establecimientos productivos más representativos de la zona, permitió generar curvas de evolución de los parámetros analizados, durante el tiempo de duración de la experiencia (Fig. 3).

Del análisis de la Figura 3 se observa la tendencia a acidificarse que tienen los suelos de la región ($\text{pH} = 6,1$ para el año 2009), con valores mínimos detectados de 5,4. Si bien el pH fluctúa durante los años en estudio, las diferencias fueron significativas ($p < 0,01$). Esta moderada acidificación ha llevado a la necesidad de aplicar correctores, especialmente en las implantaciones de alfalfa, siendo el carbonato de calcio el producto comercial más utilizado (Gambaudo *et al.*, 2001).

En periodos húmedos, el espesor de la doble capa difusa del suelo (intercambio catiónico) es mayor, la concentración de acidez intercambiable disminuye y los H^+ que están en la solución del suelo ingresan al intercambio para restablecer el equilibrio. En un mismo lote, después de un periodo húmedo el pH es hasta 0,7 puntos mayor que en muestras tomadas en una estación seca (Pilatti, com. pers.). Si consideramos que la sequía que afecta la zona es la más importante de los últimos 50 años, podríamos inferir que este proceso se invierte. La doble capa difusa es de menor espesor, y la concentración de H^+ migra hacia la solución del suelo provocando mayor acidificación. Este análisis podría justificar los bajos valores de pH observados en el periodo 2008-2009.

Un trabajo reciente en el cual se evaluaron 518 Arguidoles del área central de la provincia de Santa Fe, demostró que la reacción del suelo (pH) es adecuada para la mayoría de los cultivos implantados, excepto para la alfalfa. El 84% de los valores de pH está entre 5,6 y 6,2 con un promedio de 5,9 y sólo el 5% de los lotes de la región presentan valores de pH inferiores a 5,6 (Pilatti *et al.*, 2008).

Los niveles de nitrógeno, pese a ser deficitarios, mostraron una respuesta de crecimiento significativa ($p < 0,01$), siendo el año 2005 el de mayor concentración (NT = 0,170%), destacándose en el año 2009 las mayores concentraciones de nitrógeno nitrico y nitrato (25 y 112 mg kg^{-1} , respectivamente). Este aspecto es sumamente alentador y en gran medida se debe a la capacitación y

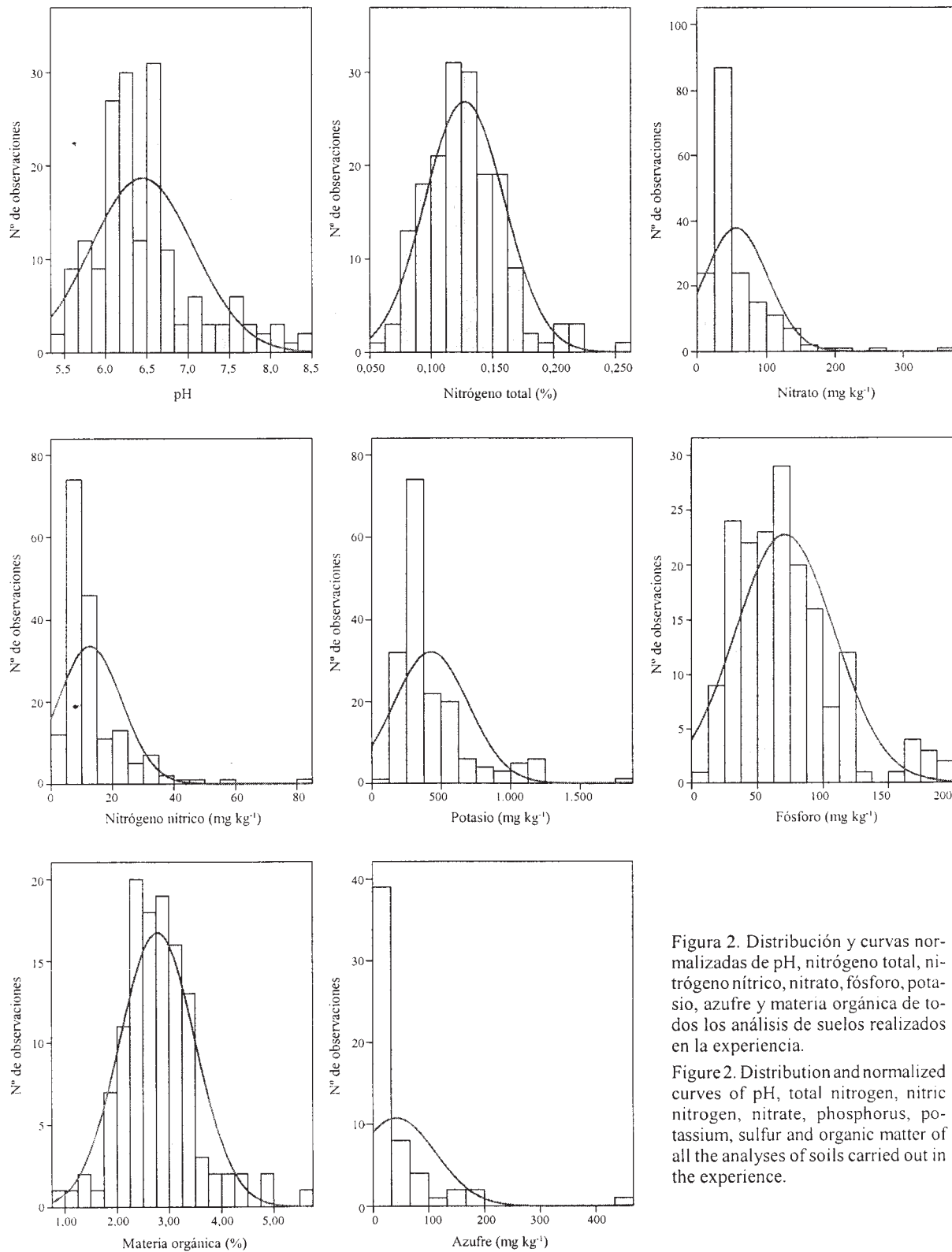


Figura 2. Distribución y curvas normalizadas de pH, nitrógeno total, nitrógeno nítrico, nitrato, fósforo, potasio, azufre y materia orgánica de todos los análisis de suelos realizados en la experiencia.

Figure 2. Distribution and normalized curves of pH, total nitrogen, nitric nitrogen, nitrate, phosphorus, potassium, sulfur and organic matter of all the analyses of soils carried out in the experience.

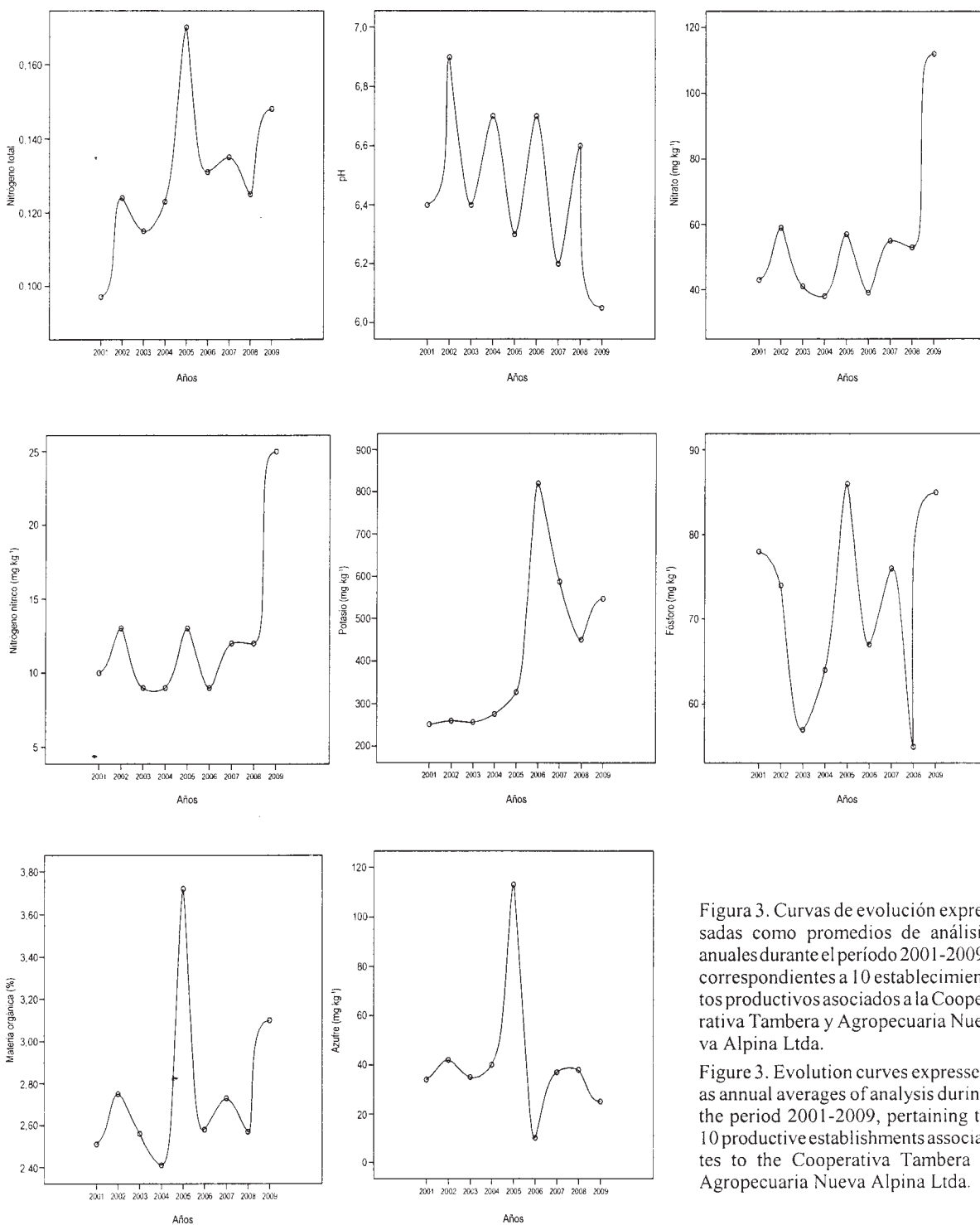


Figura 3. Curvas de evolución expresadas como promedios de análisis anuales durante el periodo 2001-2009, correspondientes a 10 establecimientos productivos asociados a la Cooperativa Tambara y Agropecuaria Nueva Alpina Ltda.

Figure 3. Evolution curves expressed as annual averages of analysis during the period 2001-2009, pertaining to 10 productive establishments associated to the Cooperativa Tambara y Agropecuaria Nueva Alpina Ltda.

concientización de los productores en incorporar manejos conservadores como siembra directa, fertilización equilibrada y rotación de cultivos, especialmente aquellos que dejan mayor cantidad de rastrojos (maíz, sorgo y trigo) contribuyendo al aporte de materia orgánica.

El fósforo fue uno de los indicadores más variables (55 y 88 mg kg⁻¹ para los años 2008 y 2009, respectivamente), posiblemente influenciado por el impacto de la importante sequía que afecta la zona (bajo nivel de extracción mineral). De acuerdo a reportes suministrados por la Red de Información Agroeconómica para la Región Pampeana (RIAN-RIAP) (2009), la humedad refleja un déficit crítico en el perfil del suelo de menos de 60 mm de agua a 1,5 m de profundidad.

Pilatti & Grenon (2008) estudiaron propiedades químicas en Argiudoles típicos y ácuicos ubicados en su mayoría dentro del departamento Las Colonias (provincia de Santa Fe), reportando concentraciones levemente superiores de nitrógeno total (0,142%, n = 569) y muy inferiores de fósforo (25 mg kg⁻¹, n = 661), comparadas con los resultados observados en esta experiencia.

El potasio marcó una significativa tendencia de crecimiento con su concentración máxima en el año 2006 (K = 820 mg kg⁻¹), muy superior a la observada por Pilatti *et al.* (2008), y el azufre mostró una gran variabilidad especialmente en el año 2005 (S = 113 mg kg⁻¹).

La materia orgánica, con una leve tendencia a mejorar durante el tiempo de duración de la experiencia, presentó una moderada fluctuación entre los años 2005 y 2009, resultando para este último en un valor de 3,10%, representativo de los suelos del área en estudio. Las altas temperaturas y humedades de la primavera y el verano colaboran junto a la erosión a deprimir la concentración de materia orgánica, acelerando los procesos de descomposición.

El programa estadístico utilizado permitió calcular ecuaciones de tendencia. La más significativa durante los nueve años de experiencia fue para el indicador pH. Una marcada acidificación de los suelos quedó proyectada por la ecuación lineal [$y = 6,6861 - 0,0417 * x$], en donde «y» representa el valor de pH y «x» el número de años en estudio. De continuar esta tendencia, se puede inferir que los suelos de la zona llegarían a un valor medio de pH menor de 6,0 para el año 2017, ocasionando serias limitantes productivas en la mayoría de los cultivos, especialmente en las implantaciones de alfalfa. Carrizo (2007) analizando Argiudoles del centro de la provincia de Santa Fe, encontró que el 30% de los lotes estudiados (n = 32) presentaba pH inferior a 5,4 y sólo el 7% tenía pH entre 5,9 y 6,1.

Aplicando ploteos de superficie 3D (x, y, z), se analizaron polinomios que relacionan respuestas en función

de variables, obteniendo el resultado más significativo al comparar el pH frente a nitrógeno total y materia orgánica. A medida que aumenta la concentración de nitrógeno total y materia orgánica, se observa un marcado incremento de la acidez de los suelos. El nitrógeno total fue el más influyente, y niveles de pH inferiores a 5,8 fueron detectados para concentraciones de nitrógeno total superiores a 0,195%, dentro de un rango de materia orgánica comprendido entre 3,50 y 5,70%.

Conocer las características productivas y limitaciones que presentan los suelos de los distintos ambientes resulta de utilidad a la hora de decidir su uso y realizar actividades sustentables. Debe comprender el análisis de las variables productivas, ambientales y socioeconómicas e integrar las actividades agropecuarias y forestales de la región.

Sería deseable también poder estudiar las modificaciones que ocurren en suelos cultivados y sitios considerados como referencia (situación quasi-prístina) dado el desplazamiento agropecuario hacia zonas marginales que se observan en los últimos tiempos, especialmente en el monocultivo intensivo de soja.

CONCLUSIÓN

La zona noroeste de Santa Fe y Sur de Santiago del Estero posee suelos deficitarios en nitrógeno, adquiriendo la aplicación estratégica de fertilización un rol muy importante a la hora de optimizar los rendimientos productivos.

Los suelos estudiados presentan un valor de pH con una marcada tendencia a acidificarse en los últimos años, por lo tanto, la toma de decisión de aplicar sistemas de labranza reducida, fomentar el desarrollo de materia orgánica e implementar la rotación de cultivos es la vía necesaria para generar la sostenibilidad del recurso suelo de la región.

AGRADECIMIENTOS

La presente experiencia se desarrolló en el marco de un «Convenio de Cooperación Mutua» entre el Laboratorio Integral de Servicios Analíticos (L.I.S.A.) perteneciente a la Cooperativa Tambara y Agropecuaria Nueva Alpina Ltda. y el Instituto de Tecnología de Alimentos (I.T.A.), Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Litoral.

Los autores agradecen al Lic. VR Coutaz por su valiosa colaboración en el procesado estadístico.

BIBLIOGRAFÍA

- Bonel, BA; S Montico; N Di Leo; JA Denoia & MS Vilche. 2005. Análisis energético de las unidades de tierra en una cuenca rural. *Revista FAVE – Ciencias Agrarias* 4(1-2): 37-47.
- Buschiazzo, DE; JL Panigatti & PW Unger. 1998. Tillage effects on soil properties and crop production in the subhumid and semiarid Argentinean Pampas. *Soil Till. Res.* 49: 105-116.
- Carrizo, ME. 2007. Reacción del suelo (pH) y complejo intercambiable en Argiudoles del centro de Santa Fe. Prospección regional y cambios a la adición de carbonato de calcio. Tesis de Grado. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Litoral. Esperanza, Santa Fe. 69 pp.
- Casanovas, E; H Echeverría & G Studdert. 1995. Materia orgánica del suelo bajo rotaciones de cultivos. Contenido total y de distintas fracciones. *Ciencia del Suelo* 13(1): 16-20.
- Cursack de Castignani, AM & M Travadelo de Bevilacqua. 1997. El análisis económico en la conservación de suelos: aspectos metodológicos. *Revista FAVE* 11(1-2): 48-61.
- Dexter, AR. 2004. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma* 120: 201-214.
- Doran, JW & MR Zeiss. 2000. Soil quality response to long-term nutrient and crop management on a semi-arid Inceptisol. *Appl. Soil Ecol.* 15: 3-11.
- Ferreras, L; G Magra; P Besson; E Kovalevski & F García. 2007. Indicadores de calidad física en suelos de la Región Pampeana norte de Argentina bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo* 25(2): 159-172.
- Fontanetto, HM; HS Vivas & OR Keller. 2003. Eficiencia del uso del nitrógeno en maíz con siembra directa. Efecto de diferentes dosis de nitrógeno. INTA – EEA Rafaela. Anuario 2002.
- Franzluebbers, AJ; GW Langdale & HH Schomberg. 1999. Soil carbon, nitrogen, and aggregation in response to type and frequency of tillage. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 63: 349-355.
- Gambaudo, S; A Zampar; L Tomatis & O Quaino. 2001. Respuesta de la alfalfa a la aplicación de dos enmiendas calcáreas. INTA – EEA Rafaela. Anuario 2000.
- Gil-Sotres, F; C Trasar-Cepeda; MC Leirós & S Seoane. 2005. Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. *Soil Biol. Biochem.* 37: 877-887.
- Giorgi, R; R Tosolini; V Sapino; J Villar; C León & A Chiavassa. 2008. Zonificación Agroeconómica de la Provincia de Santa Fe. Delimitación y descripción de las zonas y subzonas agroeconómicas. INTA – CR Santa Fe – EEA Rafaela. Publicación Miscelánea N° 110.
- Gutiérrez, H & MC Arregui. 2000. Comportamiento de herbicidas en suelos, agua y plantas. *Revista FAVE* 14(1): 73-89.
- Hein, NE & JL Panigatti. 1986. Carta de suelos NE de Córdoba y SE de Santiago del Estero. INTA – EEA Rafaela. Publicación Miscelánea N° 39.
- Heredia, OS; L Giuffrè; FJ Gorleri & ME Conti. 2006. Calidad de los suelos del norte de Santa Fe. Efecto de la geomorfología y el uso de la tierra. *Ciencia del Suelo* 24(2): 109-114.
- Micucci, F & MA Taboada. 2006. Soil physical properties and soybean (*Glycine max*, Merrill) root abundance in conventionally -and zero- tilled soils in the humid Pampas of Argentina. *Soil Till. Res.* 86: 152-162.
- Nari, PA & CC Bertorello. 2008. Manejo del suelo hacia una producción agroecológica. Escuela de la Familia Agrícola LL 76. V Feria Provincial de Ciencia y Tecnología Juvenil. Santiago del Estero, 1 al 3 de Octubre de 2008.
- Pankhurst, CE; BG Hawke; HJ McDonald; CA Kirby; JC Buckerfield; P Michelsen; KA O'Brien; VVSR Gupta & BM Doube. 1995. Evaluation of soil biological properties as potential bioindicators of soil health. *Aust. J. Exp. Agr.* 35: 1015-1028.
- Pereira dos Santos, H; RS Fontaneli; JC Ignaczak & SM Zoldan. 2000. Conversão e balanço energético e sistemas de produção de grãos com pastagens sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 35(4): 743-752.
- Pilatti, MA; JA de Orellana; LJ Priano; OM Felli & DA Grenon. 1988. Incidencia de manejos tradicionales y conservacionistas sobre propiedades físicas, químicas y biológicas de un Argiudol en el sur de Santa Fe. *Ciencia del Suelo* 6(1): 19-29.
- Pilatti, MA & J Orellana. 2007. Hacia una clínica de suelos: diagnóstico edafológico y suelo ideal. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Litoral. 118 pp.
- Pilatti, MA & DA Grenon. 2008. Información química de Argiudoles del centro de Santa Fe (Argentina). I) Nitrógeno y fósforo extractable. *Revista FAVE – Ciencias Agrarias* 7(1-2): 105-120.
- Pilatti, MA; DA Grenon & ME Carrizo. 2008. Información química de Argiudoles del centro de Santa Fe (Argentina). II) pH y cationes intercambiables, potasio, calcio y magnesio. *Revista FAVE – Ciencias Agrarias* 7(1-2): 121-130.
- Red de Información Agroeconómica para la Región Pampeana (RIAN-RIAP). 2009. Boletín N° 46, Julio de 2009. Año V.
- Revelli, GR; OA Sbodio; EJ Tercero & M Uberti. 2002. Impacto de la calidad de agua para bebida animal en relación a parámetros productivos, composicionales y reproductivos. *Revista FAVE – Ciencias Veterinarias* 1(1): 55-67.
- SAGyP – CFI. 1995. El deterioro de las tierras en la República Argentina. Alerta amarillo. 287 pp.
- Salinas-García, JR; FM Hons & JE Matocha. 1997. Long-term effects of tillage and fertilization on soil organic matter dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61: 152-159.
- Sánchez, MC; OS Heredia; N Bartoloni; C González & N Arrigo. 2006. Secuencias de cultivos y labranzas: efectos sobre las fracciones de carbono del suelo. Resúmenes del XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 168.
- Snedecor, GW & WG Cochran. 1977. Métodos Estadísticos. Compañía Editorial Continental S.A. México.
- Solbring, O & EF Viglizzo. 1999. Sustainable farming in the Argentine Pampas: History, Society, Economy and Ecology. DR-CLAS Paper N° 99/00-1. Harvard University, Cambridge, MA.
- SPSS for Windows. 2003. Release 12.0.0. Copyright © SPSS, Inc.
- Urricariet, S & RS Lavado. 1999. Indicadores de deterioros en suelos de la Pampa Ondulada. *Ciencia del Suelo* 17(1): 37-44.
- USDA – NRCS. 2006. Claves para la Taxonomía de Suelos. Décima Edición. 331 pp.
- Wagenet, RJ. 1998. Scale issues in agroecological research chains. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 50: 23-34.
- Zen, O; S Imhoff; S Gambaudo; H Fontanetto & R Martel. 2009. Identificación de ambientes homogéneos de manejo mediante indicadores de calidad física y química de suelos. INTA – EEA Rafaela. Publicación Miscelánea N° 115.