

# APLICACIÓN DE FUENTES DE FÓSFORO AL SUELO EN DIFERENTES CORTES DE CÉSPED CULTIVADO

## APPLYING PHOSPHORUS SOURCES TO SOILS DURING DIFFERENT CUTS OF CULTIVATED GRASS

Elías Afif, Pedro Palencia\*, J. Alberto Oliveira

Departamento Biología de Organismos y Sistemas. Escuela Politécnica de Mieres. Universidad de Oviedo. C/Gonzalo Gutiérrez Quirós s/n. 33600 Mieres, España. (palencia@uniovi.es).

### RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar la disponibilidad de fósforo (P) en distintos tipos de suelos del Principado de Asturias, España, al aplicar diferentes fuentes de P en 200 mg kg<sup>-1</sup> de suelo. La composición del césped, cultivado en macetas, fue una mezcla de *Agrostis tenuis* cv. Highland 5 %, *Poa pratense* cv. Balin 5 %, *Festuca rubra* cv. Mystic 35 % y *Lolium perenne* cv. Nui 55 %. Los tratamientos se generaron con un diseño factorial completo de 12 tipos de suelos, cuatro fuentes de P y tres fechas de corte. Las fuentes de P fueron suelo sin fertilizar, fosfato diamónico (FD; 18 % N-46 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), abono complejo de P y K (RF; 20-5 de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O) y superfosfato de calcio simple (SF; 18 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), todos con dos repeticiones. El análisis del césped se realizó a los 45, 90 y 135 d desde la siembra (96 unidades experimentales). Los resultados se analizaron con ANDEVA usando el programa SPSS 19, y la prueba de Tukey (p ≤ 0.05) para los casos que presentaron diferencias significativas de los efectos principales e interacciones. La producción mayor de materia seca y P absorbido en todos los tipos de suelos se produjo con FD. El rendimiento relativo medio de materia seca del césped, P asimilable del suelo, concentración de P foliar y P total absorbido mostraron diferencias significativas entre los tratamientos.

**Palabras claves:** Mehlich 3, materia seca, disolución aparente, fertilización fosfatada, fósforo asimilable.

### INTRODUCCIÓN

El fósforo (P) es un nutriente esencial y factor limitante del crecimiento de las plantas en suelos con contenido bajo de este elemento y que pueden ser fertilizados con abonos fosfatados o

### ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the availability of phosphorus (P) in different types of soils in Principado de Asturias, Spain, by applying different P sources with a dose of 200 mg P kg<sup>-1</sup> of soil. The grass composition, cultivated in pots, was a mixture of *Agrostis tenuis* cv. Highland 5 %, *Poa pratense* cv. Balin 5 %, *Festuca rubra* cv. Mystic 35 % and *Lolium perenne* cv. Nui 55 %. The treatments were generated with a complete factorial design of 12 types of soils, four sources of P and three dates of cutting. The sources of P were soil without fertilizer, diammonium phosphate (FD; 18 % N-46 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), P and K complex fertilizer (RF; 20-5 of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O), and simple calcium superphosphate (SF; 18 % of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), all of them with two repetitions. The grass analysis was carried out at 45, 90 and 135 d after sowing (96 experimental units). Results were analyzed with ANOVA using the SPSS 19 software, and the Tukey test (p ≤ 0.05) for the cases that presented significant differences of the primary effects and interactions. A higher production of dry matter and P absorbed in all types of soils was produced with FD. The mean relative yield of dry matter of the grass, available P in the soil, leaf P concentration and total P absorbed showed significant differences between treatments.

**Keywords:** Mehlich 3, dry matter, apparent dissolution, phosphate fertilization, available phosphorus.

### INTRODUCTION

Phosphorus (P) is an essential nutrient and limiting factor for plant growth in soils with low content of this element and which can be fertilized with phosphate fertilizers or animal manure (Szogi *et al.*, 2012). The total amount of P in the arable layer of the soil can range between 200 and 5000 mg kg<sup>-1</sup> (Brady and Weil, 2009), but only less

\* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: abril, 2013. Aprobado: agosto, 2013.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 47: 553-566. 2013.

estiércol animal (Szogi *et al.*, 2012). La cantidad total de P en la capa arable del suelo puede oscilar entre 200 y 5 000 mg kg<sup>-1</sup> (Brady y Weil, 2009), pero sólo menos de 1 % está disponible para la planta. Procesos como la desorción, solubilización o mineralización permiten que la planta tenga formas aprovechables de P (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> y HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), aunque son escasas en la mayoría de los suelos a pesar del contenido alto de P total (Turner *et al.*, 2006). El P es indispensable en el metabolismo de las plantas (Hernández-Leal *et al.*, 2011).

En la solución del suelo la concentración de P es 0.1 mg L<sup>-1</sup> (Thompson y Troeh, 2008) y la planta lo puede extraer directamente. El pH más favorable para la disponibilidad del P es menor que la neutralidad (pH 6 a 6.5). Los complejos solubles con iones fosfato y cationes di y trivalentes (Afif, 2005) y los de P orgánico forman una parte abundante del P total en la solución del suelo (Turrión *et al.*, 2000).

Cuando la concentración de P es baja en la solución del suelo dominan las reacciones de adsorción y cuando es alta la precipitación puede tener lugar (Afif, 2005). La adsorción de P es una propiedad del suelo por las reacciones de superficie que ocurren con los constituyentes, como arcillas, sesquióxidos de hierro y aluminio, y calcita, y afecta su disponibilidad para las plantas (Carreira *et al.*, 2006). El fosfato adsorbido pasa a la solución del suelo por desorción donde está disponible para las plantas. Turrión *et al.* (2007) indicaron que el fosfato débilmente adsorbido sobre los coloides arcillosos es más asimilable por las plantas que el resto de las reservas edáficas. Además la materia orgánica adsorbe fosfato y parece posible sólo cuando hay Al y Fe adsorbidos, por el mecanismo de intercambio de ligando del ion fosfato por los grupos OH<sup>-</sup> (Von Wandruszka, 2006).

El reactivo Mehlich 3, denominado también doble ácido (Borgez-Gómez *et al.*, 2008), destaca entre los extractantes universales (Mehlich, 1984). El método Mehlich 3 se correlaciona con la disponibilidad de P del suelo y su absorción por la planta (Monterroso *et al.*, 1999; Affif y Oliveira, 2005).

La mayoría de los cultivos usan 1 a 5 mg P g<sup>-1</sup> de materia seca. Pero, 2 mg P g<sup>-1</sup> se considera como concentración crítica para 90 % del rendimiento máximo (Adams y Gibbs, 1994). Abajo de este valor crítico de P hay deficiencia, y arriba hay suficiencia del elemento. Factores de la planta y del suelo influyen en la absorción de P y la fuente de N del fertilizante es uno de ellos. La fertilización basada en

than 1 % is available for the plant. Processes like desorption, solubilization or mineralization allow the plant to have available forms of P (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> and HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), although they are scarce in most of the soils in spite of the high content of total P (Turner *et al.*, 2006). The P is indispensable for plant metabolism (Hernández-Leal *et al.*, 2011).

In the soil solution the P concentration is 0.1 mg L<sup>-1</sup> (Thompson and Troeh, 2008) and the plant can extract it directly. The most favorable pH for P availability is below neutral (pH of 6 to 6.5). The soluble complexes with phosphate ions and di and trivalent cations (Afif, 2005) and those of organic P are an abundant part of the total P in the soil solution (Turrión *et al.*, 2000).

When P concentration is low in the soil solution, adsorption reactions dominate, and when it is high precipitation can take place (Afif, 2005). Adsorption of P is a property of soil as a result of surface reactions that occur with constituents, such as clays, iron and aluminum sesquioxides, and calcite, and it affects its availability for plants (Carreira *et al.*, 2006). The phosphate adsorbed moves to the soil solution through desorption where it is available to plants. Turrión *et al.* (2007) indicated that phosphate that is weakly adsorbed over clay colloids is more available to plants than the rest of the soil reserves. Besides, organic matter adsorbs phosphate and that seems possible only when there is Al and Fe adsorbed, through the exchange mechanism of linking the phosphate ion by OH<sup>-</sup> groups (Von Wandruszka, 2006).

The Mehlich 3 reactive, also called double acid (Borgez-Gómez *et al.*, 2008), stands out among the universal extractants (Mehlich, 1984). The Mehlich 3 method is correlated with the availability of P in the soil and its absorption by the plant (Monterroso *et al.*, 1999; Afif and Oliveira, 2005).

Most crops use 1 to 5 mg P g<sup>-1</sup> of dry matter. However, 2 mg P g<sup>-1</sup> is considered the critical concentration for 90 % of maximum yield (Adams and Gibbs, 1994). Below this critical value of P there is deficiency and above it there is sufficiency of the element. Factors of the plant and soil influence the absorption of P and the source of N in fertilizers is one of them. Fertilization based on NH<sub>4</sub><sup>+</sup> causes excessive excretion of protons (H<sup>+</sup>) by the roots, called physiological acidity, which favors the dissolution of P sources of low solubility. With fertilization based

$\text{NH}_4^+$  ocasiona excreción excesiva de protones ( $\text{H}^+$ ) por las raíces, llamada acidez fisiológica, que favorece la disolución de fuentes poco solubles de P. Con fertilización basada en  $\text{NO}_3^-$  la planta excreta  $\text{HCO}_3^-$  o  $\text{OH}^-$ , que elevan el pH de la rizosfera (Tagliavini *et al.*, 1995). La acidez fisiológica es un mecanismo de la planta que mantiene la electroneutralidad de la interfase suelo-raíz como consecuencia del desbalance de la relación catión/anión absorbidos por las raíces.

Las coberturas de césped son uno de los componentes principales de los espacios verdes en sus aspectos funcionales, estéticos o ambientales, destinados a ornamentación, deportes, recreación, fijación del suelo o algunos u otros usos múltiples (Carrieri *et al.*, 2005). El césped usado en el norte de España corresponde comúnmente a la mezcla de *Agrostis tenuis* cv. Highland, *Poa pratense* cv. Balin, *Festuca rubra* cv. Mystic y *Lolium perenne* cv. Nui (5, 5, 35 y 55 %).

El objetivo de este estudio fue evaluar la respuesta de césped, cultivado en macetas, al fosfato diamónico (FD; N-46% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), abono complejo de fosforo y potasio (RF; 20 y 5 % de  $\text{P}_2\text{O}_5$  y  $\text{K}_2\text{O}$ ), superfosfato de calcio simple (SF; 18 % de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) en relación con las propiedades de 12 suelos desarrollados sobre distinto material parental de la zona oriental, central y occidental del Principado de Asturias, España, mediante la producción de biomasa seca durante tres cortes (45, 90 y 135 d desde la siembra) y la absorción de P.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras usadas fueron de 12 suelos obtenidos en 12 localidades de tres zonas del Principado de Asturias, España: cuatro en la zona occidental (en los concejos de Valdés, Allande, Boal y Grandas de Salime), cuatro de la zona central (Ribera de Arriba, Gozón, Avilés y Langreo) y cuatro de la zona oriental (Piloña, Amieva, Llanes y Cabrales). Los suelos se clasificaron en la zona occidental y central como Ustorthent, Ustochrept, Udorthent y Dystrochrept, y en la zona oriental como Udorthent, Eutrudept y Dystrudept (Soil Survey Staff, 1999). Los suelos se habían desarrollado sobre distinto material parental: areniscas, cuarcitas apizarradas y pizarras en el occidente; calizas y depósitos fluviales en la zona central y calizas blancas; conglomerados y cuarcitas en el oriente (IGME, 2001). De cada localidad se obtuvo una muestra de 5 kg de suelo, compuesta por la homogeneización de 20 submuestras tomadas al azar entre la superficie y 20 cm de profundidad, usando una sonda holandesa. Las muestras se secaron a temperatura ambiente, se desmenuzaron y pasaron por un

on  $\text{NO}_3^-$  the plant excretes  $\text{HCO}_3^-$  or  $\text{OH}^-$ , which elevate the pH in the rhizosphere (Tagliavini *et al.*, 1995). Physiological acidity is a mechanism of the plant that maintains the electroneutrality of the soil-root interface as consequence of the imbalance of the cation/anion relation absorbed by the roots.

Grass coverage are one of the main components of green spaces in their functional, aesthetic or environmental aspects, destined for ornament, sports, recreation, soil fixation or other multiple uses (Carrieri *et al.*, 2005). The grass used in the north of Spain commonly corresponds to the mixture of *Agrostis tenuis* cv. Highland, *Poa pratense* cv. Balin, *Festuca rubra* cv. Mystic and *Lolium perenne* cv. Nui (5, 5, 35 and 55 %).

The objective of this study was to evaluate the grass response, cultivated in pots, to diammonium phosphate (FD; N-46% of  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), complex phosphorus and potassium fertilizer (RF; 20 and 5 % of  $\text{P}_2\text{O}_5$  and  $\text{K}_2\text{O}$ ), simple calcium superphosphate (SF; 18 % of  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) in relation to the properties of 12 soils developed on different parent material in the eastern, central and western zone of Principado de Asturias, Spain, through the production of dry biomass during three cuts (45, 90 and 135 d after sowing) and the absorption of P.

## MATERIALS AND METHODS

Samples were used from 12 soils obtained in 12 localities in three zones of Principado de Asturias, Spain: four in the western zone (in the town councils of Valdés, Allande, Boal and Grandas de Salime), four in the central zone (Ribera de Arriba, Gozón, Avilés and Langreo) and four in the eastern zone (Piloña, Amieva, Llanes and Cabrales). The soils were classified in the western and central zone as Ustorthent, Ustochrept, Udorthent and Dystrochrept, and in the eastern zone as Udorthent, Eutrudept and Dystrudept (Soil Survey Staff, 1999). The soils had developed on different parent material: sandstone, quartzite, slate-like quartzite and slate in the west; limestone and fluvial deposits in the central zone; and white limestone, conglomerates and quartzite in the east (IGME, 2001). From each locality a sample of 5 kg from the soil was obtained, made up by the homogenization of 20 subsamples taken randomly between the surface and 20 cm of depth, using a Dutch probe. The samples were dried at room temperature, they were shredded and sifted through a 2 mm sieve of circular mesh to eliminate the thick elements; 300 g of each sifted soil were used for their physico-chemical analysis (Table 1). The texture was determined based on

tamiz de 2 mm de luz de malla circular para quitar los elementos gruesos; 300 g de cada suelo tamizado se usaron para su análisis físico-químicos (Cuadro 1). La textura se determinó según el método de la pipeta Robinson, con hexametafosfato sódico con  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  como dispersante. Para determinar la capacidad de campo (CC) se usaron embudos cilíndricos con tapón de algodón en la base, llenos con muestras de suelo y humedecidas con suficiente agua; la CC se determinó en la muestra de la zona central húmeda del embudo después de 48 h (Afif, 2005). El C orgánico se determinó por ignición, el pH potenciométricamente en una suspensión suelo:agua 1:2.5, las sales solubles en el extracto 1:5, las bases extraíbles con  $\text{ClNH}_4$  1 N y el Al intercambiable con KCl 1M, ambos por absorción atómica. Se calculó la capacidad de intercambio catiónico efectiva (bases + aluminio de cambio). El N total se determinó por el método Kjeldahl (Klute, 1996) y el P disponible por el método de Mehlich 3 (Mehlich, 1984), por ser el más adecuado para P asimilable en una amplia gama de suelos (Monterroso *et al.*, 1999; Afif y Oliveira, 2005). Cuando los niveles de P extraíble por el método de Mehlich 3 son menores de  $15 \text{ mg kg}^{-1}$  de suelo, es posible encontrar una respuesta a la fertilización fosfatada, pero entre 15 y  $30 \text{ mg P kg}^{-1}$  también es probable encontrar esa respuesta y por encima de  $30 \text{ mg P kg}^{-1}$  no se espera respuesta a la fertilización (Mehlich, 1984).

the Robinson pipette method, with sodium hexametaphosphate and with  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  as dispersant. To determine field capacity (FC), cylindrical funnels with a cotton plug at the base were used, filled with soil samples and moistened with enough water; the FC was determined in the sample of the humid central area of the funnel after 48 h (Afif, 2005). The organic C was determined through ignition, the pH with a potentiometer in a soil:water suspension at 1:2.5, the soluble salts in the extract 1:5, the extractable bases with  $\text{ClNH}_4$  1 N and the interchangeable Al with KCl 1M, both through atomic absorption. The capacity for effective cation exchange (bases + exchange aluminum) was calculated. The total N was determined with the Kjeldahl method (Klute, 1996) and the available P with the Mehlich 3 method (Mehlich, 1984), because it is the most adequate for available P in a broad range of soils (Monterroso *et al.*, 1999; Afif and Oliveira, 2005). When the levels of extractable P found with the Mehlich 3 method are lower than  $15 \text{ mg kg}^{-1}$  of soil, it is possible to find an answer to phosphate fertilization; however, between 15 and  $30 \text{ mg P kg}^{-1}$ , it is also probable to find this response, and above  $30 \text{ mg P kg}^{-1}$  a response to fertilization is not expected (Mehlich, 1984).

Treatments with two repetitions were soil: without fertilizer (T), fertilizer FD, fertilizer RF and fertilizer SF. A single dose of  $200 \text{ mg P kg}^{-1}$  of soil was applied for the three phosphate

**Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas de 12 suelos del Principado de Asturias (España) utilizados en este estudio.**  
**Table 1. Physical and chemical properties of 12 soils in Principado de Asturias (Spain) used in this study.**

Zona	Localidad	pH <sup>1</sup>	CE <sup>2</sup> ds m <sup>-1</sup>	CC <sup>3</sup>	Are. <sup>4</sup>	Arc. <sup>5</sup>	MO <sup>6</sup>	N	C/N	PM3 <sup>7</sup> mg kg <sup>-1</sup>	Ca <sup>8</sup>	Mg <sup>8</sup>	K <sup>8</sup>	Na <sup>8</sup>	Al <sup>8</sup>	CICE <sup>9</sup>
				%								Cmol <sub>(c)</sub> kg <sup>-1</sup>				
Centro	Ribera de Arriba	5.46	0.03	21.64	54.40	9.77	4.16	0.32	7.68	25.74	4.25	0.23	0.07	0.66	1.26	6.47
	Gozón	5.59	0.06	22.99	46.92	10.27	2.96	0.18	9.56	20.80	4.92	0.47	0.13	0.57	1.33	7.42
	Carreño	5.77	0.14	33.64	36.44	22.70	2.88	0.17	10.02	32.14	6.86	0.30	0.14	0.80	1.46	9.56
	Langreo	5.45	0.09	20.75	12.42	9.50	4.66	0.46	5.85	34.83	4.29	0.31	0.13	0.64	1.28	6.65
Occidente	Pola de Allande	4.66	0.04	16.57	80.68	3.22	3.36	0.26	7.45	29.07	1.35	0.22	0.07	0.51	1.92	4.07
	Grandas de Salime	4.17	0.04	22.02	82.94	11.37	3.69	0.38	5.71	25.81	0.96	0.06	0.04	0.47	2.47	4.00
	Valdés	4.81	0.04	15.98	91.06	5.96	2.50	0.15	9.62	30.29	1.53	0.13	0.09	0.55	2.16	4.46
Oriente	Boal	4.17	0.05	18.76	69.09	8.83	4.40	0.38	6.79	29.88	1.06	0.09	0.05	0.54	2.37	4.11
	Piloña	6.48	0.21	27.95	67.62	17.99	2.70	0.16	9.87	28.18	9.14	0.36	0.14	0.73	1.16	11.53
	Cabrales	6.62	0.15	35.82	58.18	23.23	4.67	0.36	7.61	24.28	9.62	0.46	0.27	0.70	1.12	12.17
	Amieva	6.70	0.23	18.82	72.63	9.12	3.65	0.23	9.07	35.80	12.4	0.95	0.18	0.52	1.09	15.14
	Llanes	6.82	0.16	25.71	67.58	18.01	2.60	0.15	9.88	26.31	15.2	0.79	0.14	0.54	1.03	17.70

<sup>1</sup>pH (H<sub>2</sub>O) relación suelo:disolución (1:2.5); <sup>2</sup>Conductividad eléctrica en el extracto (1:5) medida a 25 °C; <sup>3</sup>Capacidad de campo; <sup>4</sup>Árena; <sup>5</sup>Arcilla; <sup>6</sup>Materia orgánica; <sup>7</sup>P disponible extraído por el método de Mehlich 3; <sup>8</sup>Ca, Mg, K, Na y Al intercambiables; <sup>9</sup>Capacidad de intercambio catiónico efectiva ♦ <sup>1</sup>pH (H<sub>2</sub>O) soil:dissolution ratio (1:2.5); <sup>2</sup>Electric conductivity in the extract (1:5) measured at 25 °C; <sup>3</sup>Field capacity; <sup>4</sup>Sand; <sup>5</sup>Clay; <sup>6</sup>Organic matter; <sup>7</sup>P available extracted by the Mehlich 3 method; <sup>8</sup>Exchangeable Ca, Mg, K, Na and Al; <sup>9</sup>Effective cationic exchange capacity.

Los tratamientos con dos repeticiones fueron suelo: sin fertilizar (T), fertilizado FD, fertilizado RF y fertilizado SF. Una sola dosis de 200 mg P kg<sup>-1</sup> de suelo fue aplicada para las tres fuentes fosfatadas. Los fertilizantes fosfatados, adquiridos de la empresa CEFSA, S.A., se aplicaron al momento de la siembra. Se usaron 96 macetas (12 suelos x 4 fertilizaciones x 2 repeticiones) de 0.5 L de capacidad en un invernadero de la Escuela Politécnica de Mieres (43° 14' 26, 27" N; 5° 46' 34, 77" O y 213 msnm).

En cada maceta se colocaron 1.92 g de una mezcla de semillas de césped (*Agrostis tenuis* cv. Highland 5 %, *Poa pratense* cv. Balin 5 %, *Festuca rubra* cv. Mystic 35 % y *Lolium perenne* cv. Nui 55 %) calculado con base en la superficie de la maceta (0.0064 m<sup>2</sup>) y la dosis de siembra recomendada comercialmente (30 g m<sup>-2</sup>). Para conseguir desarrollo mayor de las plantas se aplicaron 150 mg N kg<sup>-1</sup> de suelo (75 mg N por maceta) en todas las macetas, como nitrato amónico de cálcico (27 % N); a FD se le restó la cantidad de N correspondiente. Diariamente se agregó la cantidad de agua necesaria para llevar el suelo a capacidad de campo. Las plantas se cortaron tres veces a ras del suelo, para su análisis a los 45, 90 y 135 d después de la siembra. Las muestras se colocaron 48 h en una estufa a 70 °C, y se determinó su humedad. Al final, el suelo de cada maceta se deshidrató a temperatura ambiente, se eliminaron las raíces y se determinó el P Mehlich 3.

El análisis mineral de las muestras de césped se realizó en el material deshidratado, con una extracción húmeda con ácido perclórico y ácido nítrico (Jones *et al.*, 1991), y dilución con HCl 1N. En esta última se determinaron Ca, Mg y K (datos no mostrados) por absorción atómica, y P fotométricamente. El N se determinó por el método Kjeldahl en las muestras vegetales digeridas con ácido sulfúrico concentrado a 450 °C, durante 1 h.

Con los datos obtenidos se calcularon los valores de la disolución aparente (DA), parámetro que permite visualizar la cantidad de P que se disuelve de cada fertilizante (Ramírez *et al.*, 2001). El DA es el P total disponible en el suelo determinado por el método Mehlich 3, incluye el P natural del suelo más el P del fertilizante (expresado en porcentaje). El P absorbido (mg planta<sup>-1</sup>) por las plantas (PA) en cada maceta se obtuvo multiplicando la producción de materia seca (MS) en g por la concentración de P en la planta (mg P g<sup>-1</sup>). Con los datos del PA se calcularon los valores de la eficiencia de aprovechamiento del fertilizante aplicado, expresado en porcentaje para cada tratamiento con la siguiente ecuación:

$$EF = \frac{PAPCF - PAPS F}{CPAFF} \times 100$$

donde EF = eficiencia de aprovechamiento del fertilizante aplicado de la fuente de fertilizante, PAPCF = P absorbido por la

sources. The phosphate fertilizers, acquired from CEFSA, S. A., were applied at the time of sowing. Ninety six pots of 0.5 L capacity were used (12 soils x 4 fertilizers x 2 repetitions) in a greenhouse of the Mieres Polytechnic School (43° 14' 26, 27" N; 5° 46' 34, 77" W and 213 masl).

In each pot, 1.92 g of a mixture of grass seeds were placed (*Agrostis tenuis* cv. Highland 5 %, *Poa pratense* cv. Balin 5 %, *Festuca rubra* cv. Mystic 35 % and *Lolium perenne* cv. Nui 55 %), which was calculated based on the surface of the pot (0.0064 m<sup>2</sup>) and the sowing dose recommended commercially (30 g m<sup>-2</sup>). To obtain greater development of the plants, 150 mg N kg<sup>-1</sup> of soil (75 mg N per pot) was applied in all the pots, as calcium ammonium nitrate (27 % N); to FD, the corresponding amount of N was subtracted. The necessary amount of water was added daily to take the soil to field capacity. The plants were cut three times at ground level, for their analysis at 45, 90 and 135 dafter sowing. The samples were placed in a stove at 70 °C for 48 h, and their moisture was determined. At the end, the soil in each pot was dehydrated at room temperature, the roots were eliminated and the P Mehlich 3 was determined.

The mineral analysis of grass samples was carried out with the dehydrated material, with a humid extraction with percloric acid and nitric acid (Jones *et al.*, 1991), and dilution with 1N HCl. In the latter, Ca, Mg and K were determined (data not shown) through atomic absorption, and P photometrically. The N was determined with the Kjeldahl method in the plant samples digested with sulfuric acid concentrated at 450 °C, for 1 h.

With the data obtained, the apparent dissolution (AD) values were calculated, parameter that allows visualizing the amount of P that is dissolved from each fertilizer (Ramírez *et al.*, 2001). The AD is the total P available in the soil, determined by the Mehlich 3 method, which includes the natural P in the soil plus the P from fertilizer (expressed in percentage). The P absorbed (mg plant<sup>-1</sup>) by plants (PA) in each pot was obtained by multiplying the production of dry matter (DM) in g by the concentration of P in the plant (mg P g<sup>-1</sup>). With the PA data, the values of efficiency of use of the fertilizer applied were calculated, expressed in percentage for each treatment with the following equation:

$$EF = \frac{PAPCF - PAPS F}{CPAFF} \times 100$$

where EF = efficiency of use of the fertilizer applied from the fertilizer source, PAPCF = P absorbed by the plant with fertilizer, PAPS F = P absorbed by the plant without fertilizer, CPAFF = a amount of fertilizer applied from the fertilizer source.

planta con fertilizante, PAPS<sub>F</sub> = P absorbido por la planta sin fertilizante, CPAFF = cantidad de fertilizante aplicado de la fuente de fertilizante.

Para el estudio de los 12 suelos se usó estadística descriptiva, los datos (se analizaron con ANDEVA 3 zonas × 4 tratamientos × 3 fecha de corte × 2 repeticiones) y luego se compararon el efecto de fecha de corte, las zonas, las fuentes fosfatadas y se obtuvieron las interacciones: fecha de corte:zona, fecha de corte:tratamiento, zona:tratamiento y fecha de corte:zona:tratamiento en las variables evaluadas. Para las diferencias significativas se aplicó la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Estos análisis se realizaron con el programa SPSS V19 (SPSS, 2011).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Propiedades físicas y químicas de los suelos

Los 12 suelos presentaron intervalo amplio de variación de las propiedades relacionadas con la dinámica del fosfato. La conductividad eléctrica de todos los suelos fue baja, lo que indica ausencia de salinidad. Los suelos de la zona occidental fueron muy ácidos con pH 4.45, los de la zona central fueron fuertemente a medianamente ácidos con pH entre 5.45 y 5.77 y en la zona oriental fueron neutros con pH 6.66 (Cuadro 1). La textura de los suelos varió de arenosa franca a franco limosa, con contenido de arcilla de 3.22 a 23.22 % (media 7.35, 13.06 y 17.09 % en la zona occidental, centro y oriental). El contenido de materia orgánica osciló de 2.50 a 4.67 % (media: 3.49, 3.67 y 3.41 % en la zona occidental, centro y oriental), concordante con los contenidos normalmente presentes en suelos de pastizales de zonas húmedas y frías (Afif y Oliveira, 2008). La relación C/N fue baja ( $\leq 10$ ) en todos los suelos, lo que indicó mineralización favorable que afecta positivamente al contenido de N en el suelo. El P asimilable, extraído por el método de Mehlich 3, en la mayoría de los suelos estudiados fue menor al nivel crítico ( $< 30 \text{ mg P kg}^{-1}$ ) (Monterroso *et al.*, 1999). Los cationes cambiables y la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) variaron según el porcentaje de arcilla en los suelos, y destacaron los valores elevados de Ca, Mg y K cambiables y acidez intercambiable baja (Al de cambio) en la zona oriental.

### Valores del césped

La MS (rendimiento en g maceta<sup>-1</sup>) es una variable usada para evaluar la respuesta de las plantas

For the study of the 12 soils descriptive statistics was used, and data were analyzed with ANOVA was used for data analysis (3 zones × 4 treatments × 3 dates of cutting × 2 repetitions), and then the effect of the date of cutting, the zones and the phosphate sources were compared, and the following interactions were obtained: date of cutting:zone, date of cutting:treatment, zone:treatment, and date of cutting:treatment in the variables evaluated. For significant differences, the Tukey test was applied ( $p \leq 0.05$ ). These analysis were carried out with the SPSS V19 software (SPSS, 2011).

## RESULTS AND DISCUSSION

### Physical and chemical properties of soils

The 12 soils presented a broad interval of variation of the properties related with the dynamics of phosphate. Electric conductance of all the soils was low, which indicates an absence of salinity. The soils in the western zone were very acid with a pH 4.45, those in the central zone were strongly to fairly acidic, with pH between 5.45 and 5.77, and in the eastern zone they were neutral with a pH 6.66 (Table 1). The soil texture varied from sandy loam to silt loam, with clay content of 3.22 to 23.22 % (mean 7.35, 13.06 and 17.09 % in the western, center and eastern zones). The organic material content ranged between 2.50 and 4.67 % (mean: 3.49, 3.67 and 3.41 % in the western, central and eastern zones), in agreement with the contents that are normally found in pasture soils in humid and cold zones (Afif and Oliveira, 2008). The C/N ratio was low ( $\leq 10$ ) in all the soils, which indicated favorable mineralization that positively affects the N content in the soil. The available P, extracted through the Mehlich 3 method, in most of the soils studied was below the critical level ( $< 30 \text{ mg P kg}^{-1}$ ) (Monterroso *et al.*, 1999). The exchangeable cations and the capacity for effective cationic exchange (CICE, for its Spanish acronym) varied according to the percentage of clay in the soils, and the high values of changeable Ca, Mg and K stood out, as well as the low exchangeable acidity (change Al) in the eastern zone.

### Grass values

The DM (yield in  $\text{g pot}^{-1}$ ) is a variable used to evaluate the response of plants to fertilizers (Afif, 2005). The grass DM in every soil was  $1.79 \text{ g pot}^{-1}$  and significant differences were found between the

a los fertilizantes (Afif, 2005). La MS del césped en todos los suelos fue 1.79 g maceta<sup>-1</sup> y se encontraron diferencias significativas entre las fechas de corte, los tratamientos y los suelos (Cuadro 2). La interacción entre las fechas de cortes y los tratamientos (fuentes fosfatadas) fue significativa.

La MS del césped en T osciló en el primer corte entre 0.16 g maceta<sup>-1</sup> y 0.74 g maceta<sup>-1</sup> en la zona de occidente y las plantas fertilizadas con FD en la zona oriente (Cuadro 3); en el segundo corte entre 0.26 g maceta<sup>-1</sup> en T de la zona de occidente y 1.62 g maceta<sup>-1</sup> en el tratamiento fertilizado con FD en la zona oriente (Cuadro 4); y en el tercer corte entre 0.42 g maceta<sup>-1</sup> en T en la zona de occidente y 1.89 g maceta<sup>-1</sup> en el tratamiento fertilizado con FD en la zona centro (Cuadro 5). Los valores menores correspondieron a la zona occidente y T (Cuadro 3, 4 y 5). La MS mayor se obtuvo en los suelos fertilizados con FD (fuente fosfatada de mayor solubilidad), pues, los fertilizantes de solubilidad alta producen cantidad mayor de P asimilable en los primeros días del desarrollo del cultivo, cuando este elemento es requerido en cantidad mayor y causa una producción mayor de MS (Fernández, 2008). Además, los valores medios de la MS de todos los tratamientos y fechas de corte fueron mayores en los suelos neutros del oriente, y los valores menores en los suelos muy ácidos de la zona occidental. La disponibilidad mayor del P en suelos neutros y su riqueza en bases extraíbles favorece el crecimiento del cultivo, y en suelos ácidos la

dates of cutting, the treatments and the soils (Table 2). The interaction between dates of cutting and treatments (phosphate sources) was significant.

Grass DM in T ranged at the first cut between 0.16 g pot<sup>-1</sup> and 0.74 g pot<sup>-1</sup> in the western zone and the plants fertilized with FD in the eastern zone (Table 3); at the second cut, between 0.26 g pot<sup>-1</sup> in T in the western zone and 1.62 g pot<sup>-1</sup> in the treatment fertilized with FD in the eastern zone (Table 4); and at the third cut, between 0.42 g pot<sup>-1</sup> in T in the western zone and 1.89 g pot<sup>-1</sup> in the treatment fertilized with FD in the central zone (Table 5). The lower values corresponded to the western zone and T (Table 3, 4, and 5). The highest DM was obtained in the soils fertilized with FD (phosphate source of highest solubility), since fertilizers of high solubility produce a greater amount of available P during the first days of crop development, when this element is required in a greater amount causing a higher production of DM (Fernández, 2008). In addition, the average values of DM of all treatments and the dates of cutting were higher in the neutral soils of the east, and lower in very acidic soils of the western zone. The higher availability of P in neutral soils and their wealth in extractable bases favors the growth of the crop, and in acidic soils the high immobilization of phosphate due to the formation of insoluble complexes with Fe and Al sesquioxides, constitutes an abundant loss of the element, with the consequent decrease of the crop yield (Afif, 2005). The ANOVA

**Cuadro 2. Resumen del análisis de la varianza de los efectos P Mehlich 3, P foliar, P absorbido y disolución aparente.**  
**Table 2. Summary of the variance analysis of effects from P Mehlich 3, foliar P, P absorbed and apparent dissolution.**

Fuente de variación <sup>1</sup>	MS <sup>2</sup> g maceta <sup>-1</sup>	PM3 <sup>3</sup> mg kg <sup>-1</sup>	P planta mg g <sup>-1</sup>	P absorbido mg planta <sup>-1</sup>	DA <sup>4</sup> mg P fertilizante <sup>-1</sup>
C	5.60 ***	13673.94 ***	32.13 ***	31.40 ***	10080.51 ***
Zona	1.79 ***	1971.37 ***	27.95 ***	82.16 ***	3263.48 ***
Trat	4.03 ***	8885.91 ***	46.80 ***	145.27 ***	9389.15 ***
C:Zona	0.20 NS	390.33 ***	1.39 *	1.63 NS	636.48 ***
C:Trat	0.33 *	900.17 ***	0.20 NS	7.84 *	393.16 ***
Zona:Trat	0.04 NS	448.13 ***	0.68 NS	6.41 *	997.08 ***
C:Zona:Trat	0.02 NS	160.55 **	0.11 NS	0.65 NS	536.19 ***
Error	0.14	64.41	0.48	2.80	48.47

<sup>1</sup>C: fechas de corte; Trat: fuentes fosfatadas; Zona: zonas proveniente de los 12 suelos; <sup>2</sup>Materia seca; <sup>3</sup>P disponible extraído por el método de Mehlich 3; <sup>4</sup>Disolución aparente. \*: Significativo p ≤ 0.05; \*\*: significativo p ≤ 0.01; \*\*\*: significativo p ≤ 0.001; NS: no significativo.  
 ♦ <sup>1</sup>C: dates of cutting; Trat: phosphate sources; Zona: zones from the 12 soils; <sup>2</sup>Dry matter; <sup>3</sup>Available P extracted by the Mehlich 3 method; <sup>4</sup>Apparent dissolution. \*: Significant p ≤ 0.05; \*\*: Significant p ≤ 0.01; \*\*\*: Significant p ≤ 0.001; NS: Not significant.

**Cuadro 3. Valores medios de la materia seca del primer corte (45 d después de la siembra) del césped cultivado en macetas.**  
**Table 3. Mean values of dry matter during the first cut (45 d after sowing) of the grass cultivated in pots.**

		Primer corte: 45 d desde la siembra				
Zona	Tratamiento <sup>1</sup>	MS <sup>2</sup> g maceta <sup>-1</sup>	PM3 <sup>3</sup> mg kg <sup>-1</sup>	P planta mg g <sup>-1</sup>	P absorbido mg planta <sup>-1</sup>	DA <sup>4</sup> mg P fertilizante <sup>-1</sup>
Centro	FD	0.62 a (0.10)	81.00 a (8.87)	5.19 a (0.78)	3.09 a (0.84)	34.07 c (4.28)
	RF	0.44 ab (0.07)	44.81 c (2.70)	4.42 a (0.53)	1.95 ab (0.52)	46.76 b (3.00)
	SF	0.50 a (0.11)	61.16 b (5.32)	4.72 a (0.50)	1.63 ab (0.87)	62.53 a (4.64)
	T	0.29 b (0.08)	23.37 d (4.58)	2.67 b (0.74)	1.24 b (0.84)	24.61 d (5.11)
Occidente	FD	0.48 a (0.05)	64.69 a (7.24)	4.92 a (0.40)	2.35 a (0.27)	67.11 a (7.39)
	RF	0.40 ab (0.04)	36.80 b (2.21)	3.63 b (0.67)	1.44 b (0.18)	38.23 b (2.37)
	SF	0.51 a (0.22)	41.45 b (3.16)	4.06 ab (0.66)	1.70 b (0.32)	33.93 b (20.14)
	T	0.16 b (0.02)	20.30 c (1.89)	2.27 c (0.47)	0.36 c (0.05)	20.65 c (1.89)
Oriente	FD	0.74 a (0.09)	109.53 a (20.16)	7.49 a (0.79)	5.53 a (0.86)	115.06 a (20.60)
	RF	0.53 b (0.13)	42.13 c (8.31)	5.44 ab (1.07)	2.88 bc (0.98)	45.01 c (8.18)
	SF	0.66 ab (0.09)	80.64 b (12.91)	6.31 ab (1.19)	4.14 ab (0.90)	84.79 b (13.38)
	T	0.29 c (0.05)	20.69 c (6.82)	4.05 b (1.33)	1.16 c (0.46)	21.85 d (7.12)
Promedio de las tres zonas	FD	0.61 a (0.13)	85.07 a (22.83)	5.87 a (1.36)	3.66 a (1.56)	72.08 a (36.63)
	RF	0.45 b (0.10)	41.24 c (5.85)	4.50 b (1.05)	2.09 b (0.86)	43.33 c (6.08)
	SF	0.56 ab (0.16)	61.09 b (18.31)	5.03 ab (1.24)	2.49 b (1.40)	60.42 b (25.26)
	T	0.24 c (0.08)	21.45 d (4.63)	3.00 c (1.15)	0.92 c (0.65)	22.37 d (4.99)

Las diferencias significativas en los valores medios se indican con letras distintas (prueba de Tukey,  $p \leq 0.05$ ) y las desviaciones estándar se muestran entre paréntesis. <sup>1</sup>T: testigo sin fertilizar; FD: fosfato diamónico (18 % N, 46 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); RF: Complejo PK (20% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 5 % K<sub>2</sub>O); SF: superfosfato de cal 18 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; <sup>2</sup>Materia seca; <sup>3</sup>P disponible extraído por el método de Mehlich 3; <sup>4</sup>Disolución aparente. The significant differences in mean values are indicated with different letters (Tukey test,  $p \leq 0.05$ ) and standard deviations are shown between parenthesis. <sup>1</sup>T: control without fertilizer; FD: diammonium phosphate (18 % N, 46 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); RF: PK complex (20% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 5 % K<sub>2</sub>O); SF: lime superphosphate 18 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; <sup>2</sup>Dry matter; <sup>3</sup>Available P extracted by the Mehlich 3 method; <sup>4</sup>Apparent dissolution.

inmovilización alta del fosfato debida a la formación de complejos insolubles con los sesquióxidos de Fe y Al, constituye una pérdida abundante del elemento con la disminución consecuente del rendimiento del cultivo (Afif, 2005). El ANDEVA del rendimiento mostró un efecto altamente significativo de las fuentes fosfatadas (Trat), de las zonas (Zona) y de las tres fechas de corte (C). La interacción C x Trat para MS indica que el contenido de MS de la planta está influenciado por la fecha de corte y la fuente de fosfato (Cuadro 2).

El P absorbido mostró diferencias altamente significativas entre las fechas de corte, las zonas estudiadas y las fuentes fosfatadas. También las interacciones de las fechas de corte con los tratamientos, y las zonas con los tratamientos fueron significativas para el P absorbido (Cuadro 2).

La concentración de P del césped varió en las tres fechas de corte de todas las zonas. En el primer corte entre 2.27 mg g<sup>-1</sup> en T de la zona occidente y 7.49 mg g<sup>-1</sup> con la fertilización con FD en la zona oriente

of yield showed a highly significant effect of the phosphate sources (Trat), of the zones (Zona) and of the three dates of cutting (C). The C x Trat interaction for DM indicates that the DM content of the plant is influenced by the date of cutting and the phosphate source (Table 2).

The P absorbed showed highly significant differences between the dates of cutting, the zones studied and the phosphate sources. Also, the interactions between dates of cutting and treatments, and zones with treatments were significant for the P absorbed (Table 2).

The grass P concentration varied during the three dates of cutting in all the zones. At the first cut between 2.27 mg g<sup>-1</sup> in T in the western zone and 7.49 mg g<sup>-1</sup> with fertilization with FD in the eastern zone (Table 3); at the second cut it varied between 1.74 mg g<sup>-1</sup> in T in the western zone and 5.54 mg g<sup>-1</sup> with FD in the eastern zone (Table 4); and at the third cut it varied between 1.52 mg g<sup>-1</sup> in T in the western zone and 4.92 mg g<sup>-1</sup> with FD in the eastern



**Cuadro 4. Valores medios de la materia seca del césped, cultivado en macetas, del segundo corte (90 d después de la siembra).**  
**Table 4. Mean values of dry matter from the grass, cultivated in pots, during the second cut (90 d after planting).**

		Segundo corte: 90 d desde la siembra				
Zona	Tratamiento <sup>1</sup>	MS <sup>2</sup> g maceta <sup>-1</sup>	PM3 <sup>3</sup> mg kg <sup>-1</sup>	P planta mg g <sup>-1</sup>	P absorbido mg planta <sup>-1</sup>	DA <sup>4</sup> mg P fertilizante <sup>-1</sup>
Centro	FD	1.25 a (0.44)	44.31 a (4.91)	4.42 a (0.65)	5.55 a (2.28)	49.86 a (5.17)
	RF	0.76 ab (0.39)	22.15 c (1.78)	3.35 ab (1.17)	2.48 ab (1.39)	24.62 c (2.52)
	SF	1.02 ab (0.46)	31.97 b (2.89)	4.07 a (0.77)	4.11 ab (1.85)	36.08 b (4.12)
	T	0.36 b (0.10)	10.17 d (2.02)	1.92 b (1.04)	0.70 b (0.49)	10.86 d (2.20)
Occidente	FD	0.91 a (0.21)	34.01 a (1.79)	4.32 a (0.38)	3.96 a (0.98)	37.97 a (1.90)
	RF	0.56 bc (0.14)	17.74 b (2.83)	2.40 bc (0.65)	1.32 bc (0.42)	19.05 b (3.18)
	SF	0.69 ab (0.20)	21.36 b (4.61)	3.28 ab (0.61)	2.19 b (0.39)	23.55 b (4.55)
	T	0.26 c (0.07)	10.87 c (1.60)	1.74 c (0.44)	0.46 c (0.15)	11.33 c (1.59)
Oriente	FD	1.62 a (0.89)	51.70 a (6.30)	5.54 a (0.31)	8.91 a (4.84)	60.61 a (10.85)
	RF	1.03 a (0.55)	23.40 c (3.85)	3.98 b (0.53)	3.91 ab (1.68)	27.31 b (5.36)
	SF	1.31 a (0.72)	38.96 b (5.70)	4.68 ab (0.42)	5.92 ab (2.87)	44.88 a (8.25)
	T	0.56 a (0.27)	10.76 d (3.56)	2.32 c (0.83)	1.20 b (0.61)	11.96 b (4.05)
Promedio de las tres zonas	FD	1.26 a (0.61)	43.34 a (8.70)	4.76 a (0.72)	6.14 a (3.57)	49.48 a (11.56)
	RF	0.78 ab (0.41)	21.09 c (3.68)	3.24 b (1.01)	2.57 bc (1.60)	23.66 c (5.02)
	SF	1.01 a (0.53)	30.76 b (8.60)	4.01 ab (0.82)	4.07 ab (2.40)	34.84 b (10.60)
	T	0.39 b (0.20)	10.60 d (2.32)	2.00 c (0.78)	0.78 c (0.53)	11.38 d (2.59)

Las diferencias significativas en los valores medios se indican con letras distintas (prueba de Tukey,  $p \leq 0.05$ ) y las desviaciones estándar se muestran entre paréntesis. <sup>1</sup>T: testigo sin fertilizar; FD: fosfato diamónico (18 % N, 46 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); RF: Complejo PK (20 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 5 % K<sub>2</sub>O); SF: superfosfato de cal 18 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; <sup>2</sup>Materia seca; <sup>3</sup>P disponible extraído por el método de Mehlich 3; <sup>4</sup>Disolución aparente. ♦ The significant differences in mean values are indicated with different letters (Tukey test,  $p \leq 0.05$ ) and standard deviations are shown between parenthesis. <sup>1</sup>T: control without fertilizer; FD: diammonium phosphate (18 % N, 46 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); RF: PK complex (20 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 5 % K<sub>2</sub>O); SF: lime superphosphate 18 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; <sup>2</sup>Dry matter; <sup>3</sup>Available P extracted by the Mehlich 3 method; <sup>4</sup>Apparent dissolution.

(Cuadro 3); en el segundo corte varió entre 1.74 mg g<sup>-1</sup> en T de la zona occidente y 5.54 mg g<sup>-1</sup> con FD en la zona oriente (Cuadro 4); y en el tercer corte varió entre 1.52 mg g<sup>-1</sup> en T de la zona occidente y 4.92 mg g<sup>-1</sup> con FD en la zona oriente (Cuadro 5). Los valores menores de P se observaron los T y los mayores las plantas fertilizadas con FD, debido a la disponibilidad mayor de P en los suelos fertilizados con la fuente fosfatada de alta solubilidad. La concentración media foliar de P fue mayor en el primer corte en la zona oriental (Cuadro 3) y la menor en en el tercer corte en la zona occidental (Cuadro 5). La capacidad menor para fijar el P en los suelos neutros permitió la disponibilidad mayor de P y su concentración mayor en la planta.

La concentración de P foliar y la cantidad de P absorbido por las plantas son las variables más estudiadas para evaluar el efecto de los fertilizantes fosfatados (Torres-Dorantes *et al.*, 2006). Aquí, los valores fluctuaron entre 0.36 mg planta<sup>-1</sup> y 8.91 mg planta<sup>-1</sup> (Cuadro 3, 4 y 5). El P absorbido osciló

zone (Table 5). The lower values of P were observed in the T and the higher in plants fertilized with FD, due to the higher availability of P in soils fertilized with the high solubility phosphate source. The mean foliar concentration of P was higher at the first cut in the eastern zone (Table 3) and the lowest during the third cut in the western zone (Table 5). The lower capacity to fix the P in neutral soils allowed a higher availability of P and its higher concentration in the plant.

The concentration of leaf P and the amount of P absorbed by plants are the variables best studied to evaluate the effect of phosphate fertilizers (Torres-Dorantes *et al.*, 2006). In this case, values fluctuated between 0.36 mg plant<sup>-1</sup> and 8.91 mg plant<sup>-1</sup> (Table 3, 4 and 5). The P absorbed ranged between 0.36 mg plant<sup>-1</sup> in T at the first cut in the western zone and 5.53 mg plant<sup>-1</sup> in plants fertilized with FD in the eastern zone; at the second cut, between 0.46 mg plant<sup>-1</sup> in T in the western zone and 8.91 mg plant<sup>-1</sup> in plants fertilized with FD in the eastern zone; and

**Cuadro 5. Valores medios de la materia seca del césped, cultivado en macetas, del tercer corte (135 d después de la siembra).**  
**Table 5. Mean values of dry matter from the grass, cultivated in pots, during the third cut (135 d after planting).**

Tercer corte: 135 d desde la siembra						
Zona	Tratamiento <sup>1</sup>	MS <sup>2</sup> g maceta <sup>-1</sup>	PM3 <sup>3</sup> mg kg <sup>-1</sup>	P planta mg g <sup>-1</sup>	P absorbido mg planta <sup>-1</sup>	DA <sup>4</sup> mg P fertilizante <sup>-1</sup>
Centro	FD	1.89 a (0.28)	27.87 a (3.09)	3.75 a (0.54)	7.08 a (1.43)	34.95 a (3.82)
	RF	1.02 bc (0.42)	17.27 b (1.60)	2.44 ab (0.96)	2.52 bc (1.70)	19.79 b (2.84)
	SF	1.50 ab (0.26)	20.58 b (4.19)	3.37 a (0.64)	5.03 ab (1.26)	25.61 b (5.36)
	T	0.61 c (0.27)	7.96 c (2.41)	1.62 b (0.62)	1.02 c (0.67)	8.98 c (2.52)
Occidente	FD	1.40 a (0.05)	22.48 a (2.16)	3.75 a (0.46)	5.23 a (0.60)	27.71 a (1.69)
	RF	0.72 bc (0.15)	13.14 b (0.92)	2.02 bc (0.53)	1.40 c (0.15)	14.54 b (0.90)
	SF	0.92 b (0.27)	14.55 b (3.72)	2.78 ab (0.67)	2.45 b (0.35)	17.00 b (3.75)
	T	0.42 c (0.11)	6.29 c (0.98)	1.52 c (0.33)	0.62 d (0.10)	6.91 c (1.00)
Oriente	FD	1.85 a (1.05)	31.30 a (4.12)	4.92 a (0.21)	9.18 a (5.35)	40.48 a (5.47)
	RF	1.19 a (0.56)	17.98 b (3.67)	3.49 b (0.25)	4.06 ab (1.68)	22.03 b (5.07)
	SF	1.51 a (0.77)	22.03 b (1.40)	4.26 a (0.18)	6.36 ab (3.04)	28.39 b (3.59)
	T	0.75 a (0.31)	7.66 c (2.87)	2.04 c (0.55)	1.45 b (0.59)	9.10 b (3.43)
Promedio de las tres zonas	FD	1.71 a (0.61)	27.22 a (4.78)	4.14 a (0.69)	7.16 a (3.36)	34.38 a (6.54)
	RF	0.97 bc (0.43)	16.13 b (3.09)	2.65 b (0.87)	2.66 bc (1.69)	18.79 b (4.49)
	SF	1.31 ab (0.53)	19.05 b (4.53)	3.47 a (0.80)	4.61 b (2.42)	23.67 b (6.39)
	T	0.59 c (0.26)	7.30 c (1.15)	1.73 c (0.52)	1.03 c (0.59)	8.33 c (2.51)

Las diferencias significativas en los valores medios se indican con letras distintas (prueba de Tukey,  $p \leq 0.05$ ) y las desviaciones estándar se muestran entre paréntesis. <sup>1</sup>T: testigo sin fertilizar; FD: fosfato diamónico (18 % N, 46 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); RF: Complejo PK (20 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 5 % K<sub>2</sub>O); SF: superfosfato de cal 18 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; <sup>2</sup>Materia seca; <sup>3</sup>P disponible extraído por el método de Mehlich 3; <sup>4</sup>Disolución aparente. The significant differences in mean values are indicated with different letters (Tukey test,  $p \leq 0.05$ ) and standard deviations are shown between parenthesis. <sup>1</sup>T: control without fertilizer; FD: diammonium phosphate (18 % N, 46 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); RF: PK complex (20 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 5 % K<sub>2</sub>O); SF: lime superphosphate 18 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; <sup>2</sup>Dry matter; <sup>3</sup>Available P extracted by the Mehlich 3 method; <sup>4</sup>Apparent dissolution.

entre 0.36 mg planta<sup>-1</sup> en T del primer corte de la zona de occidente y 5.53 mg planta<sup>-1</sup> en las plantas fertilizadas con FD en la zona oriente; en el segundo corte entre 0.46 mg planta<sup>-1</sup> en T de la zona de occidente y 8.91 mg planta<sup>-1</sup> en las plantas fertilizadas con FD de la zona oriente; y en el tercer corte entre 0.62 mg planta<sup>-1</sup> de T de la zona de occidente y 9.18 mg planta<sup>-1</sup> en las plantas fertilizadas con FD en la zona oriente (Cuadro 5).

El ANDEVA aplicado al P Mehlich 3 mostró diferencias altamente significativas entre las fechas de corte, las zonas estudiadas y las fuentes fosfatadas; las interacciones fueron altamente significativas en los valores P Mehlich 3 para las la fecha de corte: las zonas, fecha de corte:fuentes fosfatada y zonas:fuentes fosfatadas. Además, la interacción de la fecha de corte:zona:fuentes fosfatadas fue significativa (Cuadro 2). Los valores de P Mehlich 3 oscilaron entre 20.30 mg kg<sup>-1</sup> en T del primer corte en la zona occidente y 109.53 mg kg<sup>-1</sup> en plantas con FD de la zona oriente (Cuadro 3). El P Mehlich 3 para el segundo

at during the third cut between 0.62 mg plant<sup>-1</sup> in T in the western zone and 9.18 mg plant<sup>-1</sup> in plants fertilized with FD in the eastern zone (Table 5).

The ANOVA applied to the P Mehlich 3 showed highly significant differences between the dates of cutting, the zones studied and the phosphate sources; the interactions were highly significant in the P Mehlich 3 values for dates of cutting:zones, date of cutting:phosphate source and zones:phosphate sources. In addition, the interaction of date of cutting:zone:phosphate source was significant (Table 2). The P Mehlich 3 values ranged between 20.30 mg kg<sup>-1</sup> in T at the first cut in the western zone and 109.53 mg kg<sup>-1</sup> in plants with FD in the eastern zone (Table 3). The P Mehlich 3 at the second cut varied between 10.17 mg kg<sup>-1</sup> for the control in the central zone and 51.70 mg kg<sup>-1</sup> for plants with FD in the eastern zone (Table 4). At the third cut the P Mehlich 3 values were 6.29 mg kg<sup>-1</sup> in T from the western zone to 31.30 mg kg<sup>-1</sup> with FD in the eastern zone (Table 5).

corte varió de 10.17 mg kg<sup>-1</sup> para el testigo en la zona centro a 51.70 mg kg<sup>-1</sup> para las plantas con FD de la zona oriente (Cuadro 4). En el tercer corte los valores del P Mehlich 3 fueron de 6.29 mg kg<sup>-1</sup> en T de la zona occidente a 31.30 mg kg<sup>-1</sup> con FD de la zona oriente (Cuadro 5).

### Disolución aparente y eficiencia de aprovechamiento del fertilizante

La cantidad de P disuelto de cada fertilizante (DA) excluye el P fijado, por lo cual se denomina aparente (Ramírez *et al.*, 2001). La DA varió entre 14.54 mg P fertilizante<sup>-1</sup> para RF en el tercer corte de la zona occidental y 115.06 mg P para FD en el primer corte de la zona oriental (Cuadro 3 y 5), y osciló entre 20.65 mg P fertilizante<sup>-1</sup> en el T del primer corte de la zona occidental y 115.06 mg P fertilizante<sup>-1</sup> con el FD de la zona oriental. La DA en el segundo corte osciló entre 10.86 mg P fertilizante<sup>-1</sup>, en T de la zona centro y 60.61 mg P fertilizante<sup>-1</sup>, con FD) en la zona oriental, y en el tercer corte varió de 6.91 mg P fertilizante<sup>-1</sup> en T de la zona occidental a 40.48 mg P fertilizante<sup>-1</sup> con FD en la zona oriental.

En los tres cortes de la zona oriental FD permitió mayor cantidad de P disuelto debido al pH neutro de esos suelos (Chien y Menon, 1995); en contraste, en los tres cortes en la zona occidental el P disuelto fue menor en todos los tratamientos, debido a la acidez del suelo. Las diferencias en DA entre los fertilizantes evaluados, entre las fecha de corte y entre las zonas fueron altamente significativas. Además, las interacciones tratamiento:zona, fecha de corte:zona y fecha de corte:tratamiento también resultaron altamente significativas en relación con DA (Cuadro 2).

Los valores medios de EF de todas las fuentes variaron de 0.39 a 7.73 %. En todas las zonas los valores más altos de EF correspondieron a la fertilización con FD (Cuadro 6), y FD produjo contenido mayor de MS, P foliar y asimilable en el suelo, y los valores menores de estas variables se obtuvieron con el complejo PK. Sin embargo, en el primer corte en la zona central, el P absorbido fue menor con el superfosfato de cal en comparación con el complejo PK, lo cual se reflejó en los valores de eficiencia de aprovechamiento del fertilizante. Además, en esta zona, en el primer corte DA de P fue superior en el superfosfato de cal, sin absorción mayor de P por la planta, debido a la capacidad alta de estos suelos para inmovilizar el P. En condiciones ácidas se aumenta la disolución

### Apparent dissolution and efficiency of fertilizer use

The amount of P dissolved from each fertilizer (AD) excludes the fixed P, which is why it is called apparent (Ramírez *et al.*, 2001). The AD varied between 14.54 mg P fertilizer<sup>-1</sup> for RF at the third cut in the western zone, and 115.06 mg P for FD at the first cut in the eastern zone (Table 3 and 5), and ranged between 20.65 mg P fertilizer<sup>-1</sup>, in T at the first cut in the western zone and 115.06 mg P fertilizer<sup>-1</sup> with FD in the eastern zone. The AD at the second cut ranged between 10.86 mg P fertilizer<sup>-1</sup>, in T in the central zone and 60.61 mg P fertilizer<sup>-1</sup>, with FD in the eastern zone; and at the third cut it ranged between 6.91 mg P fertilizer<sup>-1</sup> in T in the western zone and 40.48 mg P fertilizer<sup>-1</sup> with FD in the eastern zone.

For the three cuts in the eastern zone, FD allowed a higher amount of dissolved P because of the neutral pH of those soils (Chien and Menon, 1995); in contrast, for the three cuts in the western zone, the P dissolved was lower in all the treatments, due to the soil acidity. The differences in AD between the fertilizers evaluated, between the dates of cutting and between the zones, were highly significant. In addition, the interactions treatment:zone, date of cutting:zone and date of cutting:treatment were also highly significant with regards to the AD (Table 2).

The average values of EF from all the sources were between 0.39 and 7.73 %. In all the zones the highest values of EF corresponded to fertilization with FD (Table 6), and FD produced a higher content of DM, foliar P and P available in soil, and the lower values of these variables were obtained with the PK complex. However, at the first cut in the central zone, the P absorbed was lower with lime superphosphate in contrast with the PK complex, which was reflected in the efficiency values of fertilizer use. Also, in this zone at the first cut, the AD of P was higher in the lime superphosphate, without higher P absorption by the plant, due to the high capacity of these soils to immobilize the P. Under acidic conditions the dissolution of the insoluble fraction of the lime superphosphate increases. However, a large part of this dissolved P was immobilized when forming insoluble compounds with the Fe and Al sesquioxides, or when being adsorbed to the surface of clay, which is abundant in these soils. Phosphate sources of low solubility produce a higher dissolution of P in acidic

de la fracción insoluble del superfosfato de cal. No obstante, gran parte de este P disuelto se inmovilizó al formar compuestos insolubles con los sesquióxidos de Fe y Al, o quedar adsorbido en la superficie de la arcilla, abundante en estos suelos. Las fuentes fosfatadas de solubilidad baja producen disolución mayor de P en suelos ácidos, sin favorecer su absorción por las plantas ni el crecimiento del cultivo, debido a la capacidad alta de retención de P por estos suelos (Meza *et al.*, 2003; Savini *et al.*, 2006).

Las diferencias de EF entre los fertilizantes evaluados fueron significativas entre las zonas de estudio, salvo en el primer corte de la zona centro y el segundo y tercer de la zona oriental (Cuadro 6). Además, EF total de cada fertilizante (suma de los tres cortes) fue mayor en la zona oriental, sin diferencias significativas entre los tratamientos de la zona. La dosis alta de P (200 mg P kg<sup>-1</sup>) aplicada con las tres fuentes fosfatadas junto con la menor capacidad de fijación de P en suelos neutros permitió aumentar a largo plazo EF en la zona oriental; en contraste, la capacidad alta de retención de P en suelos ácidos generó menor EF a corto plazo (Meza *et al.*, 2003; Afif, 2005).

soils, without favoring its absorption by plants or crop growth, due to the high capacity for P retention by these soils (Meza *et al.*, 2003; Savini *et al.*, 2006).

The differences in EF between the fertilizers evaluated were significant between study zones, except at the first cut in the central zone and the second and third in the eastern zone (Table 6). In addition, the total EF for each fertilizer (sum of the three cuts) was higher in the eastern zone, without significant differences between treatments in the zone. The high dose of P (200 mg P kg<sup>-1</sup>) applied with the three phosphate sources, together with the lower capacity for P fixation in neutral soils, allowed increasing the EF in the long term for the eastern zone; in contrast, the high capacity for P retention in acidic soils generated lower EF in the short term (Meza *et al.*, 2003; Afif, 2005).

## CONCLUSIONS

The properties of the soils evaluated, from the western, central and eastern zone of Principado de Asturias, Spain, adequately represent the intervals in

**Cuadro 6. Valores medios de eficiencia de aprovechamiento del fertilizante aplicado, calculada con los valores de P absorbido.**  
**Table 6. Mean values of efficiency of use of the fertilizer applied, calculated with the P absorbed values.**

Zona	Tratamiento <sup>1</sup>	Eficiencia de aprovechamiento del fertilizante (%)			
		Primer corte	Segundo corte	Tercer corte	Total cortes
Centro	FD	1.85 a (1.01)	4.85 a (1.89)	6.06 a (0.90)	12.76 a (3.19)
	RF	0.71 a (0.62)	1.78 b (0.98)	1.50 c (1.08)	3.99 c (2.14)
	SF	0.39 a (0.34)	3.41 ab (1.52)	4.01 b (0.62)	7.81 b (2.24)
Occidente	FD	1.99 a (0.29)	3.50 a (1.05)	4.61 a (0.66)	10.10 a (1.46)
	RF	1.08 b (0.14)	0.86 b (0.45)	0.78 c (0.21)	2.72 c (0.60)
	SF	1.34 b (0.26)	1.73 b (0.43)	1.83 b (0.45)	4.90 b (0.81)
Oriente	FD	4.37 a (0.55)	7.71 a (4.56)	7.73 a (4.92)	19.81 a (9.78)
	RF	1.72 c (0.58)	2.71 a (1.37)	2.61 a (1.26)	7.04 a (2.68)
	SF	2.98 b (0.61)	4.72 a (2.53)	4.91 a (2.66)	12.61 a (5.17)
Promedio de las tres zonas	FD	2.74 a (0.31)	5.36 a (2.13)	6.13 a (1.83)	14.23 a (4.43)
	RF	1.17c (0.20)	1.79 b (0.83)	1.63 b (0.68)	4.59 b (1.64)
	SF	1.57 b (0.11)	3.29 ab (1.38)	3.58 b (1.10)	8.44 b (2.55)

Las diferencias significativas en los valores medios se indican con letras distintas (prueba de Tukey,  $p \leq 0.05$ ) y las desviaciones estándar se muestran entre paréntesis. <sup>1</sup>FD: fosfato diamónico (18 % N, 46 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); RF: Complejo PK (20 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 5 % K<sub>2</sub>O); SF: superfosfato de cal 18 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. ♦ The significant differences in mean values are indicated with different letters (Tukey test,  $p \leq 0.05$ ) and standard deviations are shown between parenthesis. <sup>1</sup>T: control without fertilizer; FD: diammonium phosphate (18 % N, 46 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); RF: PK complex (20 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 5 % K<sub>2</sub>O); SF: lime superphosphate 18 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; <sup>2</sup>Dry matter; <sup>3</sup>Available P extracted by the Mehlich 3 method; <sup>4</sup>Apparent dissolution.

## CONCLUSIONES

Las propiedades de los suelos evaluados, de la zona occidental, central y oriental del Principado de Asturias, España, representan adecuadamente los intervalos de variación de las propiedades consideradas importantes en la dinámica del fosfato. La mezcla de césped cultivado en macetas en invernadero, puede responder significativamente a la fertilización fosfatada. La mayor absorción de P y producción de MS en todos los suelos y fechas de corte se produjo con FD. Los valores medios del rendimiento relativo del césped (MS), P Mehlich 3 (PM3), P asimilable en el suelo, P foliar y P absorbido mostraron diferencias estadísticamente significativa entre los tratamiento para las fechas de corte y todas las zonas estudiadas.

variation of properties that are considered important in phosphate dynamics. It was confirmed that the mixture of grass cultivated in pots, in the greenhouse, can respond significantly to phosphate fertilization. The highest absorption of P and DM production in all the soils and dates of cutting was produced with FD. The mean values for relative yield of the grass (DM), P Mehlich 3 (PM3), available P in the soil, foliar P and P absorbed, showed statistically significant differences between treatments for dates of cutting and all the zones studied.

—End of the English version—

-----\*

## LITERATURA CITADA

- Adams, W. A., and R. J. Gibbs. 1994. Natural Turf for Sport and Amenity. Science and Practice. Editor CAB International. Wallingford, UK. pp: 31.
- Aff, E. 2005. Dinámica del fósforo en suelos calcáreos de áreas mediterráneas: trabajo experimental. Servicio de publicaciones de la Universidad de Oviedo. Oviedo, España. 110 p.
- Aff, E., y J. A. Oliveira. 2005. Pérdida de disponibilidad y niveles críticos de fósforo Mehlich 3 en suelos no calcáreos de Asturias. Pastos 35: 163-178.
- Aff, E., y J. A. Oliveira. 2008. Relación propiedades edáficas-estado nutricional de pastos en varios puertos de Asturias. En Actas XLVII Reunión Científica de la SEEP. Ed. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca. Córdoba, España. pp: 281-286.
- Brady, N. C., and R. R. Weil. 2009. Elements of the Nature and Properties of Soils. Prentice Hall, Inc. New Jersey, USA. 614 p.
- Borgez-Gómez, L., M. Soria-Fregoso, V. Casanova-Villarreal, E. Villanueva-Cohuo, y Gaspar Pereyda-Pérez. 2008. Correlación y calibración del análisis de fósforo en suelos de Yucatán, México, para el cultivo de chile habanero. Agrociencia 42: 21-27.
- Carreira, J., B. Viñeja, and K. Lajtha. 2006. Secondary CaCO<sub>3</sub> and precipitation of P-Ca compounds control the retentions of soil P in arid ecosystems. J. Arid Environ. 64:460-473.
- Carrieri, S. A., R. A. Codina, y J. Llera. 2005. Determinación del coeficiente de nasecencia en coberturas cespitosas. Oasis Norte de Mendoza (Argentina). Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias [Argentina] 1: 41-54.
- Chien, S. H., and R. G. Menon. 1995. Agronomic evaluation of modified phosphate rock products. Fertilizer Res. 41: 197-209.
- Fernández, M. S. 2008. Dinámica del fósforo edáfico y eficiencia agronómica de cuatro fuentes fosfatadas en un Ultisol y en un Alfisol Venezolanos cultivados con maíz y frijol. Tesis Doctoral. Universidad de Valladolid, Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias. Palencia, España. 249 p.
- Hernández-Leal, T. I., G. Carrión, and G. Heredia. 2011. *In vitro* phosphate solubilization by a strain of *Paecilomyces lilacinus* (Thom) Samson. Agrociencia 45:881-892.
- IGME. 2001. Mapa Geológico de España, Asturias. Serie Técnica (E: 1/50.000). Ministerio de Industria, Madrid, España.
- Jones, J. B., B. Wolf, and H. A. Mill. 1991. Plant Analysis Handbook: A Practical Sampling Preparation. Analysis and Interpretation Guide. Micro-Macro Publishing. Athens, Greece. 213 p.
- Klute, A. 1996. Nitrogen-total. *In: Methods of Soil Analyses*, part 1, 2<sup>nd</sup> edition. Ed. A. Klute. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA. pp: 595-624.
- Mehlich, A. 1984. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. Comm. Soil Sci. Plant Anal. 15: 1409-1416.
- Meza, C., S. Fernández, y L. Melendez. 2003. Roca fosfórica de Riecito tratada con vinaza y altas temperaturas como fuente de fósforo para el maíz. Agron. Trop. 53: 315-330.
- Monterroso, C., E. Álvarez, and M. L. Fernández. 1999. Evaluation of Mehlich 3 reagent as a multielement extractant in mine soils. Land Degrad. Develop. 10: 35-47.
- Ramírez, R., S. Fernández, and J. Lizaso. 2001. Changes of pH available phosphorus and calcium in rhizosphere of aluminium-tolerant maize germplasm fertilized with phosphate rock. Comm. Soil Sci. Plant Anal. 32: 1551-1565.
- Savini, I., P. Smthson, K. Karanja, and H. Yamasaki. 2006. Influence of *Tithonia diversifolia* and triple superphosphate on dissolution and effectiveness of phosphate rock in acidic soil. J. Plant Nutr. Soil Sci. 169: 593-604.
- Soil Survey Staff. 1999. Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. Agricultural Handbook 436, 2<sup>nd</sup> edition, United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service Washington DC, USA. 869 p.
- Szogi, A. A., P. J. Bauer, and M. B. Vanotti. 2012. Vertical distribution of phosphorus in a sandy soil fertilized with recovered manure phosphates. J. Soils Sediments 12:334-340.

- Tagliavini, M., A. Masia, and M. Quartieri. 1995. Bulk soil pH and rhizosphere pH of peach trees in calcareous and alkaline soils as affected by the form of nitrogen fertilizer. *Plant and Soil* 176: 263-271.
- Thompson, L. M., y F. R. Troeh. 2008. *Los Suelos y su Fertilidad*. Editorial Reverté (4<sup>o</sup> ed.). Barcelona, España. 661 p.
- Torres-Dorantes, L., N. Claassen, B. Steingrobe, and H. Olf. 2006. Fertilizer-use efficiency of different inorganic polyphosphate source: effect on soil P availability and plant P acquisition during early growth of corn. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 169: 509-515.
- Turner, B. L., E. Frossard, and A. Oberson. 2006. Enhancing phosphorus availability in low-fertility soils. *In*: Uphoff, N. (ed). *Biological Approaches to Sustainable Soil Systems*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. pp: 191-205.
- Turrión, M. B., J. Gallardo, and M. González. 2000. Distribution of P forms in natural and fertilized forest soils of the central Western Spain: plant response to superphosphate fertilization. *Arid. Soil. Res. Rehabil.* 14: 159-173.
- Turrión, M. B., O. López, F. Lafuente, R. Mulas, C. Ruipérez, and A. Puyo. 2007. Soil phosphorus forms as quality indicators of soils under different vegetation covers. *Sci. Total Environ.* 36: 207-399.
- Von Wandruszka, R. 2006. Phosphorus retention in calcareous soils and the effect of organic matter on its mobility. *Geochemical Trans.* 7: 1-8.