

5. Variación del P extractable por variación del contenido hídrico del suelo

Quincke, A.¹

INTRODUCCIÓN

Durante los meses de abril y mayo, momento en que se hace el muestreo de suelos para la recomendación de fertilización con fósforo (P) en trébol blanco o lotus, los suelos pueden encontrarse con diversos contenidos de agua. La saturación de agua y consecuente falta de oxígeno pueden provocar aumentos en los valores de P extractable (p. ej. P- Bray I). Este proceso es relevante en cultivos inundados (como el cultivo de arroz), pero puede ser importante también en suelos no inundados donde ocurren condiciones temporarias de anaerobiosis (Hernández, 2008).

Al inundarse un suelo el valor de pH tiende a la neutralidad, tanto en suelos ácidos (excepto en aquellos bajos en hierro) como en alcalinos (Ponnamperuma, 1972). Dicho cambio puede tardar varias semanas dependiendo del tipo de suelos, niveles de materia orgánica, actividad microbiana y otras propiedades químicas del suelo (Snyder y Slaton, 2002). La disponibilidad de P es máxima en un rango de pH que oscila entre 5,5 y 6,5. Otra consecuencia de la falta de oxígeno en el suelo es la disminución del potencial redox (Eh), determinando que el hierro férrico (Fe^{+3}) sea utilizado como aceptor de electrones y sea reducido a hierro ferroso (Fe^{+2}) Sah *et al.*, 1989). Esto puede provocar aumentos del P extractable a causa de la liberación del P adsorbido a los óxidos de hierro. Al culminar el período de anegamiento del suelo, la reoxidación del hierro ferroso provoca un incremento en la capacidad de retención del P y, por lo tanto, una disminución del P extractable (Ferrando *et al.*, 2002; Hernández, 2008).

También es posible que existan variaciones del contenido de P extractable en suelos en capacidad de campo, es decir con aireación normal (o suelo no anegado). La mineraliza-

ción de la materia orgánica del suelo podría aportar a las fracciones de P extractable. En los suelos del tipo molisoles y vertisoles, como la mayoría de los suelos de este estudio, el P de la fracción orgánica del suelo puede representar del 40 a 80% del P total del suelo (Picone y Zamuner, 2002).

Por los procesos mencionados, al realizar el muestreo de suelo podrían cuantificarse cantidades de P extractable que no serían representativas de las condiciones normales en las que se desarrollará el cultivo. El objetivo del estudio presentado aquí fue evaluar las variaciones de P extractable por los métodos Bray I y ácido cítrico en condiciones de exceso hídrico y a capacidad de campo. Es importante mencionar que se simuló condiciones extremas de saturación con agua en el suelo, las cuales no serían las condiciones de saturación que ocurren normalmente en condiciones de campo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para este estudio se utilizaron muestras de suelos de 12 sitios de la red de fertilización de pasturas, las cuales fueron colectadas en el año 2011 a una profundidad de 0 a 15 cm. De cada sitio se muestrearon el tratamiento testigo y el tratamiento 6 (por más detalles ver Capítulo 1 de esta publicación). Se realizó un estudio de incubación en condiciones controladas de laboratorio para someter a los distintos suelos a dos niveles contrastantes de humedad.

Previo al tratamiento de incubación, a cada suelo se le hicieron las siguientes determinaciones (Cuadro 5.1): carbono orgánico mediante el método de combustión seca a 900°C y detección con infrarrojo utilizando un equipo LECO Truspec (Wright y Bailey,

¹ Ing. Agr. PhD., Programa Nacional de Investigación en Pasturas y Forrajes. INIA La Estanzuela.

2001); pH en agua; óxidos de Fe extraídos con oxalato de amonio (FeOXAL) y óxidos de Fe extraídos con ditionito (FeDIT) (Kilmer, 1960); textura (Bouyoucos, 1962); P extractable por los métodos Bray I (P-Bray) y del ácido cítrico (P-cítrico).

Los tratamientos de incubación se realizaron en sub-muestras de 50 g colocadas en recipientes plásticos de 100 cm³ de capacidad. Las sub-muestras fueron asignadas a dos contenidos de agua durante la incubación: 1) sin exceso de agua (aeróbicas), con un con-

tenido de 70% (p/p) de capacidad de campo; y 2) con exceso de agua (anegadas), con una lámina de 25 mm de agua libre por encima de la muestra. Los suelos se incubaron a 20°C, durante periodos de tiempo de 1, 2, 3, 4 y 5 semanas. Se realizaron cuatro repeticiones por contenido de agua y semana de incubación. Al cabo de cada semana de incubación, a cada sub-muestra se determinó, en extracto húmedo, el P extractable por ambos métodos (P-Bray y P-cítrico). Además, a las muestras anegadas se les determinó pH y potencial redox ($E_{h_{pH7}}$).

Cuadro 5.1. Sitios originarios de cada suelo y variables caracterizadas para cada sitio antes de la incubación.

Sitio	Fertilización	pH	P (mg kg ⁻¹)		C org %
			P-Bray	P-cítrico	
La Carolina	testigo	5,7	6	3	3,88
La Carolina	fertilizado	5,4	6	4	3,51
Trinidad	testigo	5,1	2	1	1,41
Trinidad	fertilizado	6,0	3	2	1,73
Pan de Azúcar	testigo	5,6	2	2	2,02
Pan de Azúcar	fertilizado	5,6	2	2	2,03
Palo a Pique	testigo	5,6	2	3	1,77
Palo a Pique	fertilizado	5,5	4	4	1,77
Isla Patrulla	testigo	5,6	2	1	2,06
Isla Patrulla	fertilizado	5,6	3	2	2,25
Tres puentes	testigo	5,6	2	1	2,39
Tres puentes	fertilizado	5,4	4	3	2,52
Rincón	testigo	5,5	2	2	1,69
Rincón	fertilizado	5,4	4	3	1,93
Sauce Cañote	testigo	5,5	2	3	2,34
Sauce Cañote	fertilizado	5,5	6	5	2,84
Tambores	testigo	5,9	4	2	4,52
Tambores	fertilizado	5,8	6	3	4,20
Glencoe	testigo	5,5	7	5	2,89
Glencoe	fertilizado	5,4	5	5	2,85
Ombúes	testigo	5,7	4	2	3,65
Ombúes	fertilizado	5,7	7	7	3,94
Young	testigo	5,7	3	2	2,65
Young	fertilizado	5,7	4	3	2,65

Sitio	Fertilización	FeOXAL	FeDIT	FeOXAL/ FeDIT	Ar	L	Ac
		—————%—————			—————%—————		
La Carolina	testigo	0,57	1,02	0,56	43	28	29
La Carolina	fertilizado	0,54	0,84	0,64	43	20	37
Trinidad	testigo	0,52	0,65	0,79	63	21	16
Trinidad	fertilizado	0,59	0,62	0,95	59	22	18
Pan de Azúcar	testigo	0,50	0,64	0,79	43	38	19
Pan de Azúcar	fertilizado	0,40	0,56	0,70	45	39	17
Palo a Pique	testigo	0,38	0,51	0,74	43	38	19
Palo a Pique	fertilizado	0,39	0,51	0,76	49	33	18
Isla Patrulla	testigo	0,38	2,06	0,18	26	44	30
Isla Patrulla	fertilizado	0,31	2,14	0,15	26	44	30
Tres puentes	testigo	0,40‡	0,64	0,63	32	30	38
Tres puentes	fertilizado	0,31	0,54	0,58	41	30	29
Rincón	testigo	0,24	0,22	1,11	40	36	24
Rincón	fertilizado	0,22	0,17	1,26	38	38	24
Sauce Cañote	testigo	0,30	0,32	0,92	48	28	25
Sauce Cañote	fertilizado	0,32	0,29	1,11	54	26	21
Tambores	testigo	0,53	0,76	0,70	48	28	25
Tambores	fertilizado	0,35	0,80	0,44	33	33	34
Glencoe	testigo	0,49	0,66	0,74	19	53	29
Glencoe	fertilizado	0,51	0,68	0,75	36	40	24
Ombúes	testigo	0,55	0,94	0,58	38	24	38
Ombúes	fertilizado	0,62	0,72	0,86	38	25	37
Young	testigo	0,57	0,59	0,97	44	23	33

† Fertilización recibida por la parcela muestreada, testigo: sin fertilización con P, fertilizado: fertilizado con 80 kg ha⁻¹ P₂O₅ en el año de siembra y refertilizado con 20 kg ha⁻¹ año⁻¹. ‡ C org: porcentaje de carbono orgánico; FeOXAL_{pre}: óxidos de hierro extraídos con oxalato de amonio, previo al tratamiento de incubación; FeDIT_{pre}: óxidos de hierro extraídos con ditionito de sodio, previo al tratamiento de incubación; Ar: porcentaje de arena; L: porcentaje de limo; Ac: porcentaje de arcilla.

Fueron empleados diferentes métodos estadísticos, incluyendo métodos de análisis multivariado. No obstante, los resultados

que se presentan en este trabajo fueron obtenidos principalmente con métodos de regresión lineal.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fósforo extractable durante la incubación en aerobiosis

En las muestras incubadas en condiciones de aerobiosis, el tiempo de incubación provocó cambios ($p < 0,001$) de -2 a 8 mg kg^{-1} en los niveles de P-Bray I y de -2 a 10 mg kg^{-1} en los niveles de P-Cítrico (datos no mostrados). Las máximas variaciones observadas afectarían la interpretación de la disponibilidad de P del suelo. Es factible suponer que durante el transcurso de cinco semanas de incubación de un suelo húmedo en condiciones aeróbicas los contenidos de P extractable podrían presentar cambios significativos. Para el caso particular de la incubación en aerobiosis de este estudio, las muestras fueron previamente secadas, molidas y posteriormente rehumedecidas. Por lo tanto, esta perturbación del suelo pudo favorecer las condiciones de mineralización de la materia orgánica, lo que generaría liberación de P. Las condiciones de perturbación del suelo en este estudio pueden haber generado una mayor mineralización que la esperable en condiciones naturales del suelo. En condiciones de campo, las variaciones de P extractable serían menores. Es importante considerar que durante el muestreo del suelo se perturba y oxigena la muestra, lo cual favorece la mineralización de la materia orgánica. Por lo tanto es necesario minimizar el tiempo entre el muestreo hasta el ingreso de las muestras al laboratorio, ya que pueden ocurrir cambios significativos en el P extractable si el tiempo transcurrido es excesivo. Acorde a lo observado, tiempos menores a dos semanas entre el muestreo y secado de la muestra para el análisis, no introducirían errores significativos.

Fósforo extractable durante la incubación de muestras anegadas

Durante el período de incubación de las muestras anegadas, los valores de $E_{h_{pH7}}$ disminuyeron en las primeras 3 semanas, luego se pudo asumir que el potencial redox se mantuvo constante en un valor de -9 mV (Figura 5.1.; $R^2 = 0,75$). Los valores de pH aumentaron durante la incubación hasta alcanzar un valor constante de 6,7 luego de la semana 4 (Figura 5.2.; $R^2 = 0,67$). Este comportamiento era esperable según lo expuesto por Snyder y Slaton (2002) quienes observaron que en suelos alcalinos el pH se reduce y en suelos ácidos el pH aumenta durante un período de anegamiento. El valor de pH alcanzado es próximo al rango de pH al que sería máxima la disponibilidad de P, ya que en un suelo ligeramente ácido ocurre la mayor solubilidad simultánea de los fosfatos de calcio, hierro y aluminio (Ponnamperuma, 1972; Bohn, 2001; Kulhánek *et al.*, 2009). Si asumimos que el Fe férrico comienza a pasar a Fe ferroso a valores de $E_{h_{pH7}}$ de entre 300 mV y 100 mV a valores de pH entre 6 y 7 (Gotoh y Patrick, 1974), podemos suponer que esto ocurrió a partir de las 1,3 semanas de anegamiento. En este ensayo se favorecieron las condiciones para que descendiera el potencial redox del suelo. Los valores alcanzados de $E_{h_{pH7}}$ y pH, se corresponden con los valores esperables para suelos anegados según Bohn (2001). En un cultivo de pasturas, sin embargo, el potencial redox no presentaría descensos de esta magnitud, salvo condiciones excepcionales de exceso hídrico.

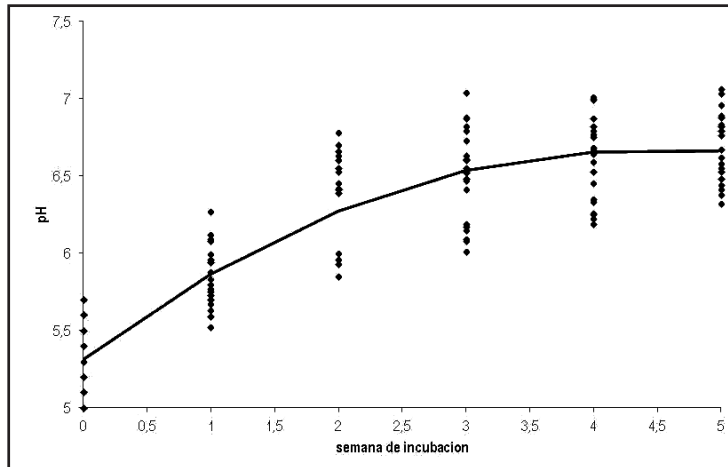


Figura 5.1. Valores promedio de pH durante el período de incubación de las muestras anegadas.

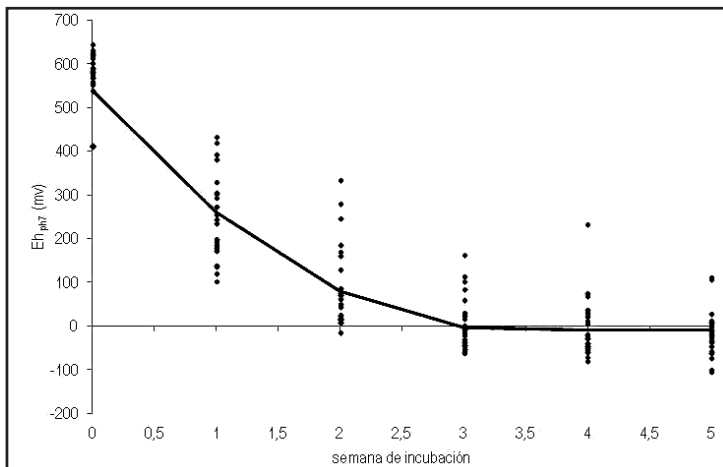


Figura 5.2. Valores promedio de Eh_{pH7} (mV) durante el período de incubación de las muestras anegadas.

En las muestras incubadas en anegamiento los valores de P-Bray y P-cítrico aumentaron en función del tiempo para la mayoría de los sitios (Cuadros 5.3a y b). En términos generales observamos un incremento desde la primera semana de incubación, pero para algunos sitios los valores máximos se alcanzaron a partir de la tercera semana, mientras que para otros aún en la quinta semana hubo incremento del P extractable. En la bibliografía consultada se reportan aumentos del P extractable desde el segundo día de anegamiento hasta los dos meses (Aldous *et al.* 2007; Obour *et al.*, 2011; Tian *et al.*, 2008). Hernández *et al.* (2013), observaron para diversos sue-

los de Uruguay, aumentos del P Bray I inicial, de entre 2,6 y 4,1 veces, al incubar suelo durante 3 a 7 días, respectivamente. Los incrementos cuantificados en el presente trabajo, de hasta 15 veces respecto al valor inicial, son notoriamente mayores a los observados por otras investigaciones nacionales (Ferrando *et al.*, 2002). Las mayores variaciones aquí analizadas se pudieron deber a las diferencias en las condiciones de anegamiento, ya que Ferrando *et al.* (2002) incubaron con un máximo de 5% de agua por encima del contenido de agua a capacidad de campo, mientras en este trabajo se incubaron los suelos con una lámina de agua libre.

En los sitios Isla Patrulla y Tambores, no se observó variación de los valores de P-Bray en función del tiempo de incubación en anaerobiosis. Esto se podría explicar porque el contenido de FeDIT fue mayor a 0,71 en ambos sitios. El hierro cuantificado por la extracción con ditionito sería más difícil de reducir, por lo que es posible que en estos sitios la reducción del Fe^{+3} a Fe^{+2} haya sido menor y, por ende, haya ocurrido

menor liberación de P adsorbido al hierro. Con respecto a las mediciones de P-cítrico en todos los sitios hubo variación del contenido de P en función del tiempo de incubación. Estas diferencias entre las variaciones de P-Bray y P-cítrico durante la incubación podrían deberse a que los métodos difieren en los mecanismos de extracción de P y en la capacidad de extraer P de las diferentes fracciones de P.

Cuadro 5.2a. Valores de P-Bray al término de cada semana de incubación del suelo en condiciones anaerobias.

Sitio	Tratamiento	Semana de incubación						Máxima variación observada
		0	1	2	3	4	5	
		P -Bray (mg kg ⁻¹)						
La Carolina	testigo	6	11	13	19	18	15	13
La Carolina	fertilizado	6	12	14	22	23	16	17
Trinidad	testigo	2	4	7	10	24	18	22
Trinidad	fertilizado	3	7	10	13	30	21	27
Pan de Azúcar	testigo	2	10	10	12	18	24	22
Pan de Azúcar	fertilizado	4	10	13	15	19	24	20
Palo a Pique	testigo	2	8	10	15	13	16	14
Palo a Pique	fertilizado	2	12	11	19	20	23	21
Isla Patrulla	testigo	2	3	4	10	3	3	7
Isla Patrulla	fertilizado	3	4	5	9	4	4	7
Tres Puentes	testigo	2	10	12	13	16	16	14
Tres Puentes	fertilizado	4	14	18	20	24	24	20
Rincón	testigo	2	12	20	17	16	17	18
Rincón	fertilizado	4	15	22	20	21	21	18
Sauce Cañote	testigo	3	14	22	22	25	27	24
Sauce Cañote	fertilizado	6	21	31	30	35	39	33
Tambores	testigo	4	11	11	12	14	10	11
Tambores	fertilizado	6	14	13	14	17	13	11
Glencoe	testigo	7	12	16	20	25	25	18
Glencoe	fertilizado	5	10	17	20	20	26	22
Ombúes	testigo	4	10	13	18	18	15	15
Ombúes	fertilizado	7	13	14	21	23	17	16
Young	testigo	3	5	8	9	18	14	15
Young	fertilizado	4	7	10	12	23	19	19

Al igual que en la incubación aeróbica, la historia de fertilización con P favoreció el incremento de P extractable durante la incubación anaeróbica (Cuadros 5.2 a y

b). Esto coincide con los observado por Ferrando *et al.* (2002) y Hernández *et al.* (2013), en suelos destinados al cultivo de arroz.

Cuadro 5.2b. Valores de P-cítrico al término de cada semana de incubación del suelo en condiciones anaerobias.

Sitio	Tratamiento	—Semana de incubación—						Máxima variación observada
		0	1	2	3	4	5	
		P-cítrico (mg kg ⁻¹)						
Glencoe	testigo	5	10	16	19	23	23	18
Glencoe	fertilizado	5	9	19	20	24	27	22
Isla Patrulla	testigo	1	2	3	6	3	4	5
Isla Patrulla	fertilizado	2	3	5	6	5	6	4
Trinidad	testigo	1	4	9	11	13	16	15
Trinidad	fertilizado	2	5	13	17	21	23	20
Pan de Azúcar	testigo	3	12	17	21	20	28	25
Pan de Azúcar	fertilizado	4	13	20	25	24	32	28
La Carolina	testigo	3	9	13	23	25	15	22
La Carolina	fertilizado	4	11	15	25	27	19	23
Palo a Pique	testigo	2	11	17	20	16	22	20
Palo a Pique	fertilizado	2	16	18	22	24	28	26
Ombúes	testigo	2	9	13	21	25	17	23
Ombúes	fertilizado	7	14	16	26	27	21	20
Rincón	testigo	2	10	10	13	12	13	11
Rincón	fertilizado	3	12	14	15	15	16	13
Tres Puentes	testigo	1	7	8	11	15	13	14
Tres Puentes	fertilizado	3	10	13	16	18	16	15
Tambores	testigo	2	7	7	10	11	10	10
Tambores	fertilizado	3	10	11	12	15	13	12
Young	testigo	2	5	9	10	12	15	14
Young	fertilizado	3	7	11	14	19	20	17
Sauce Cañote	testigo	3	9	17	14	16	20	17
Sauce Cañote	fertilizado	5	15	24	22	28	30	25

Además del tiempo de incubación, la magnitud de los aumentos de P-Bray y P-cítrico en los tratamientos anegados se debió a los mayores valores de: pH_{pre} ; carbono orgánico; FeOX_{pre} ; y $\text{FeDIT}_{\text{pre}}$ de cada sitio. Esto coincide con las tendencias observadas por Tian *et al.* (2008) y Darilekab *et al.* (2011), quienes también identificaron que los principales factores que afectaron a la liberación de fosfato al agua de inundación fueron Eh, Fe^{+2} , Fe^{+3} y el carbono orgánico disuelto. Al transcurrir el tiempo de incubación, como se mencionó anteriormente, los valores de Eh_{pH7} disminuyeron y los valores de pH aumentaron. Estos cambios explicarían una parte significativa de los aumentos de P extractable. No sería posible, sin embargo, estimar confiablemente la variación de P extractable en un suelo anegado en estas condiciones, ya que el error de estimación sería significativo.

Por último, cabe señalar que el incremento en P extractable debido al anegamiento se verifica con las muestras analizadas tanto en extracto húmedo como en extracto seco (datos no mostrados). Es decir, el secado de 48°C (que se realiza rutinariamente en el proceso de análisis de laboratorio) no revierte el aumento temporal de P extractable debido a un exceso de agua previo al muestreo del suelo.

CONCLUSIÓN

Los aumentos de P extractable ocasionados por el anegamiento (asociados al aumento de la acidez y la disminución del potencial redox del suelo), podrían inducir a errores en el diagnóstico de la fertilización en la mayoría de los sitios evaluados. Por tal motivo, para el diagnóstico de fertilización de cultivos forrajeros y/o graníferos, no sería aconsejable el muestreo de suelo si el mismo está temporalmente anegado por un período mayor a una semana. Que este tipo de anegamientos efectivamente ocurran dependerá también del drenaje natural del suelo. El muestreo de suelo debe hacerse cerca de la fecha en que se realizó el muestro para esta guía de fertilización de pasturas, para minimizar las variaciones que puedan existir, aun en condiciones normales de humedad en el suelo. Al extraer una muestra de suelo con un contenido de humedad a capacidad de campo, es necesario minimizar el tiempo hasta secado en estufa, pues pasadas las dos semanas es posible que se introduzcan errores significativos al medir P-Bray o P-cítrico.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece especialmente al Ing. Agr. Andrés Beretta, quien tuvo a cargo la ejecución de este trabajo en particular.

BIBLIOGRAFÍA

- Aldous A; Craf C; Stevens C; Barry M and Bach L.** 2007. Soil phosphorus release from a restoration wetland, Upper Klamath Lake, Oregon. *Wetlands*. 27(4): 1025 – 1035.
- Carrasco M A, Opazo J A, Peralta I V y Vera L Q.** 1992. Retención de fósforo en suelos de zonas semiáridas. *Agricultura Técnica*. 52(4): 411 – 415
- Darilekab J, Sunab W, Huangab B, Wangab Z, Qiab Y and Weindorf D.** 2011. Effect of Moisture Conditions in Rice Paddies on Phosphorus Fractionation in Agriculture Soils of Rapidly Developing Regions of China *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 42 (14): 1752-1764
- Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, Gonzalez L, Tablada M y Robledo CW.** 2012. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Ferrando M, Mercado G y Hernández J.** 2002. Dinámica del hierro y disponibilidad de fósforo durante períodos cortos de anaerobiosis en los suelos. *Agrociencia*. 1: 1-9
- Gotoh, S and W H Jr Patrick.** 1974. Transformations of iron in waterlogged soils as influenced by redox potential and pH. *Soil Science Society of American of American* 38: 66–71.
- Hernández J.** 2008. Métodos para estimar la disponibilidad de P en los suelos. En: Seminario de Actualización Técnica: fertilización fosfatada de pasturas en la región este. Serie Técnica N° 172. Bermúdez R. y W. Ayala (Eds.). INIA, Uruguay. pp. 11-19.
- Hernández J, Berger A, Deambrosi E y Lavecchia A.** 2013. Soil Phosphorus Tests for Flooded Rice Grown in Contrasting Soils and Cropping History. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 44(7): 1193-1210
- Kilmer V.** 1960. The estimation of free iron oxides in soils. *Soil Science Society of America Proceeding*. 24:420-421
- Kulhánek M, Balík J, Černý J and Vaněk V.** 2009. Evaluation of phosphorus mobility in soil using different extraction methods. *Plant Soil and Environment*. 55(7): 267–272.
- Obour A, Silveira M, Vendramini J, Sollenberger L and O'Connor G.** 2011. Fluctuating water table effect on phosphorus release and availability from a Florida Spodosol. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 91 (2): 207-217
- Patrick W H and Khalid R A.** 1974. Phosphate release and sorption by soils and sediments: Effect of aerobic and anaerobic conditions. *Science*. 186:53-55.
- Picone L. I y Zamuner E.** 2002. Fósforo orgánico y fertilidad fosfórica. En línea: [http://www.ipni.net/ppiweb/iaarg.nsf/\\$webindex/067DE38143257A7B03256CB000485093/\\$file/nota3.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iaarg.nsf/$webindex/067DE38143257A7B03256CB000485093/$file/nota3.pdf) Verificado: 29 /3 / 2012
- Ponnamperuma F N.** 1972. The chemistry of submerged soils. *Advances in Agronomy* 24:29-96.
- Sah R N, Mikkelsen D S and Hafez A A.** 1989. Phosphorus behavior in flooded-drained soils. II. Iron transformation and phosphorus sorption. *Soil Science Society of America Journal*. 53: 1723 – 1729
- Snyder C and Slaton N.** 2002. Effects of soil flooding and drying on phosphorus reactions. *News and Views Newsletter*. Potash and Phosphate Institute. Atlanta, Georgia. 4: 1-3
- Tian J, Liu L, Dings H S and Chen T.** 2008. Mobilization and transformation of phosphorus from water-soil interface of flooded soil. *China Environmental Science*. 29(7):1818-1823. SUMMARY
- Bouyoucos, G.J.** 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal* 54:464-465.

Wraith JM, Or D. 1998. Nonlinear parameter estimation using spreadsheet software. *Journal of Natural Resources and Life Sciences Education* 27, 13-19.

Wright, A.F. and J.S. Bailey. 2001. Organic carbon, total carbon, and total nitrogen determinations in soils of variable calcium carbonate contents using a Leco CN-2000 dry combustion analyzer. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 32: 3243-3258.