

FORMAS DE FÓSFORO EN SUELOS DE PANAMÁ¹

**José E Villareal-Núñez²; Santander Jaramillo³;
Benjamín Name-Tuñón⁴; Jhon A Villalaz-Pérez⁵**

RESUMEN

El objetivo fue determinar formas de fósforo (P) en suelos de los cuatro órdenes taxonómicos más comunes en Panamá. Se analizaron muestras de 0-20 cm de profundidad de 34 suelos sin fertilizar y desarrollados de diverso material parental. Se fraccionó el P-inorgánico (P-FeAl, P-CO₃, P-Ocluido y P-Ca) según la metodología de Olsen y Sommers y el P-orgánico (Porg-lábil, Porg-moderadamente-lábil y Porg-moderadamente-resistente) según Hedley. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones. El P total se obtuvo como resultado de la suma de las diversas fracciones y su contenido osciló entre 165 mg kg⁻¹ y 764 mg kg⁻¹. Los suelos desarrollados a partir de sedimentos y con granulometría fina, presentaron mayor contenido de P total. Dentro de las fracciones inorgánicas predominaron las fracciones de P-FeAl en todos los suelos, principalmente en aquellos con una alta saturación de Al. La fracción P-Ca fue menor en la mayoría de los suelos, con excepción de algunos alfisoles e inceptisoles. Con relación al P-orgánico, se encontraron valores entre 14 mg kg⁻¹ y 182 mg kg⁻¹, sin embargo, en los suelos muy meteorizados la fracción de Porg-lábil, predominó sobre las otras. Hubo correlación positiva y significativa al 0,05 de probabilidad entre la fracción de P-total y contenido de arcilla (0,86); carbono orgánico y P-orgánico total (0,72) y Saturación de Al y P-FeAl (0,94). Conocer las fracciones de P en los suelos de Panamá contribuye a mejorar su manejo.

PALABRAS CLAVES: Orden taxonómico, alfisoles, inceptisoles, andisoles, fracciones.

¹Recepción: 20 de febrero de 2017. Aceptación: 5 de mayo de 2017. Proyecto Financiado por el IDIAP. Diagnóstico de Fertilidad de los principales suelos agrícolas del país.

²Ph.D. en Edafología. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Central (CIAC). e-mail: jevilla38@gmail.com

³M.Sc. en Edafología. q.e.p.d.

⁴M.Sc. en Edafología. e-mail: bname63@gmail.com

⁵Ing. Forestal. IDIAP. CIAC. e-mail: jvillalaz14@gmail.com

PHOSPHORUS FORMS ON SOILS OF PANAMA

ABSTRACT

The objective was to determine forms of phosphorus (P) in soils from the four most common taxonomic orders in Panama. From 34 unfertilized soils, developed from different parent material, samples of 0-20 cm depth were analyzed. The inorganic-P (P-FeAl, P-CO₃, P-Occluded and P-Ca) was fractionated according to Olsen and Sommers methodology and organic P (Porg-labile, Porg-moderately-labile and Porg-moderately-resistant) according Hedley. The determination was carried out at the IDIAP Soil Laboratory in Divisa, Herrera province from January to December 1998. A completely randomized experimental design with four replicates was used. Total P was obtained as a result of the sum of the various fractions and their content ranged from 165 mg kg⁻¹ to 764 mg kg⁻¹. Soils developed from sediments and with fine granulometry presented higher total P content. The P-FeAl inorganic fractions predominated in all soils, mainly in those with high Al saturation. The P-Ca fraction was lower in most soils, except for some alfisols and inceptisols. Organic- P values between 14 mg kg⁻¹ and 182 mg kg⁻¹ were found, however, in highly weathered soils the Porg-labile fraction predominated over the others. There was a positive and significant correlation at 0,05 probability between the fraction of total P and clay content (0,86); Organic carbon and total organic- P (0,72) and Saturation of Al and P-FeAl (0,94). Knowing the P fractions in the soils of Panama contributes to improve its management.

KEY WORDS: Taxonomic order, alfisols, inceptisols, andisols, fractions.

INTRODUCCIÓN

Una de las principales limitantes en la producción de cultivos es la baja disponibilidad de fósforo (P) en el suelo, a pesar del alto contenido de P total. En suelos ácidos, la adsorción de P generalmente es atribuida a los óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio y a otras propiedades del suelo (Vázquez y Morales 2000).

Los principales órdenes de suelo presentes en Panamá son: Ultisoles, Inceptisoles, Alfisoles y Andisoles. Son ricos en óxidos de hierro y aluminio, con elevada capacidad de fijación de fosfatos, lo que hace muy complejo su manejo (Villarreal *et al.* 2013).

El P forma parte de la fracción mineral y orgánica del suelo. Los compuestos presentes varían según las características de los suelos en cada región, tales como: el material parental y las condiciones de meteorización.

Las distintas formas de P en el suelo se encuentran en equilibrio dinámico, dependiente del ambiente edáfico (textura, materia orgánica y el pH) y del manejo agronómico (como la rotación de cultivos y la fertilización).

Considerando que el P disponible para las plantas no es solamente aquel que puede ser solubilizado por una solución estándar, el análisis por medio de fraccionamientos proporciona datos más completos para estimar la disponibilidad del elemento a corto y largo plazo, según sea la forma encontrada en los distintos suelos, ya que el ciclo biológico y la meteorización alteran la disponibilidad del P para los vegetales (Hedley *et al.* 1982).

Desarrollaron un esquema de fraccionamiento del fósforo inorgánico, Olsen y Sommers 1982, basado en el método propuesto por Chang y Jackson (1957) con algunas modificaciones, principalmente la eliminación del NH_4F , reactivo que causa la sobreestimación de algunas fracciones de P.

Con el método de Olsen y Sommers (1982) las fracciones del P edáfico son obtenidas con solventes químicos selectivos, discriminando cuatro clases de compuestos: el P ligado al Fe y Al (P-FeAl), el ligado al calcio (P-Ca), unido a los carbonatos (P- CO_3) y las fracciones ocluidas.

Por otro lado, Hedley *et al.* (1982) ensayaron un método de fraccionamiento secuencial para el P que permite separar fracciones de P orgánicas e inorgánicas, de modo que tengan una relación directa con la toma de este elemento por las plantas.

Los suelos de Panamá en su mayoría, son deficientes en P biodisponible, sólo en aquellas zonas donde se ha practicado una agricultura comercial intensiva durante casi 100 años se encuentran cantidades excesivas de P (Villarreal *et al.* 2013). Estos suelos han sido fertilizados con fertilizantes químicos comerciales que son fabricados a partir de roca fosfórica acidulada (Cordell *et al.* 2009) un recurso no renovable y escaso. Se necesita mayor conocimiento de las diferentes fracciones y estrategias de manejo para mejorar su eficiencia en la agricultura (Richardson *et al.* 2011).

En investigaciones realizadas en el Sur de Chile se encontró que

las diferentes formas de P están muy relacionadas con el grado de evolución del suelo, siendo que en aquellos con mayor grado de meteorización este nutriente se encuentra mucho distribuido en una mayor cantidad de fracciones (Pinochet *et al.* 2001). Crews y Brookes (2014), en investigaciones realizadas en Inglaterra, encontraron que había un predominio de P-orgánico en suelos cultivados con especies perennes comparado con sitios donde se trabaja con cultivos anuales y granos donde predominaban las formas inorgánicas.

Un mayor conocimiento de todas las fracciones e interrelaciones del fósforo inorgánico y fósforo orgánico existentes en el suelo, es fundamental para entender la dinámica del fósforo, así como su rol

durante la génesis de los suelos. Este estudio tuvo como objetivo determinar las diferentes fracciones de P en suelos pertenecientes a los principales órdenes de suelo predominantes en Panamá.

MATERIALES y MÉTODOS

Para realizar el estudio se tomaron muestras entre 0 y 20 cm de profundidad de 34 suelos sin fertilizar y desarrollados a partir de diferente material parental (Cuadro 1).

Los suelos muestreados, pertenecen a los cuatro órdenes taxonómicos más comunes encontrados en Panamá. Cinco fueron clasificados como Ultisoles, siete Andisoles, 11 Inceptisoles y 11 Alfisoles (Figura 1).

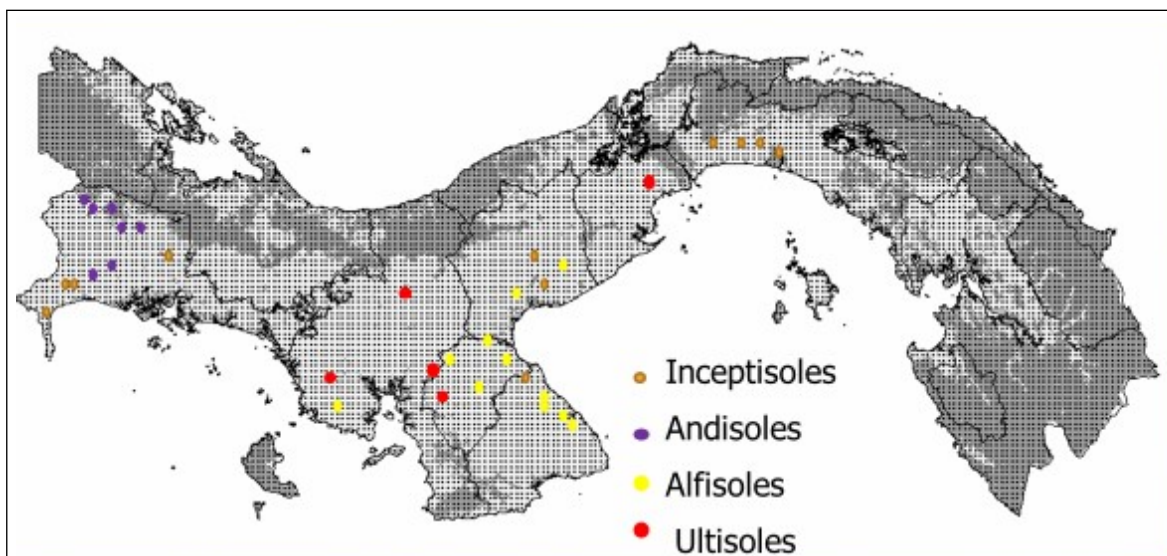


Figura 1. Ubicación de los suelos estudiados, Panamá-2014.

CUADRO 1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y MINERALÓGICAS DE LOS SUELOS ESTUDIADOS, PANAMÁ-2014.

Procedencia	Arcilla predominante	Textura	pH	P mg/l	K	Ca	Mg	Al	CICE	MO %	Mn mg/l	Fe
INCEPTISOLES												
Quira-Barú-Chiriquí	Haloisita, amorfos	Franco limoso	5,7	140,0	188,0	22,4	5,1	1,2	29,18	1,88	27	242
Manaca-Barú-Chiriquí	Haloisita, amorfos	Franco arcilloso	5,9	142,0	548,0	11,7	1,3	0,1	14,5	5,36	86	68
Guarumal, Chiriquí	Gibsita, Cristobalita	Franco arenoso arcilloso	4,9	15,0	102,0	4,4	1,4	2,7	8,76	3,08	88	101
Gualaca, Chiriquí	Haloisita-gibsita	Franco arenoso arcilloso	6,0	10,0	82,3	26,9	0,01	0,4	27,52	6,30	143	52
Río La Villa, Los Santos	Montmorilonita - Caolinita	Franco arenoso	6,1	22,1	145,0	24	5,9	0,3	30,57	1,61	143	179
Penonomé Sub Centro, Coclé	Caolinita, montmorilonita	Franco arenoso	5,4	21,0	102,0	6,0	2,3	0,5	9,14	1,88	89	84
El Coco, Coclé	Caolinita, montmorilonita	Franco arenoso arcilloso	5,5	3,3	133,2	8,7	2,8	0,2	12,04	1,88	179	65
Chepo-Cañita, Panamá	Caolinita, montmorilonita	Franco	6,0	25,0	135,0	18,6	4,9	1,2	25,05	1,88	14	94
Chepo-Felipillo, Panamá	Caolinita, montmorilonita	Franco arcilloso arenoso	5,3	13,5	117,0	6,6	2,8	1,3	11,0	4,02	27	27
Chepo-Pacora, Panamá	Caolinita, montmorilonita	Arcilloso	5,0	3,7	200,0	18,2	6,8	0,8	26,31	3,62	256	56
Chepo-Coquira, Panamá	Caolinita, montmorilonita	Franco arcilloso	5,7	5,0	117,0	23,8	6,4	0,2	30,7	3,35	155	10
ANDISOLES												
Alanje Loc. 2, Chiriquí	Gibsita, Cristobalita	Franco arenoso	5,8	8,0	274,0	1	1	1,0	3,70	9,85	10	60
Alanje Loc. 3, Chiriquí	Gibsita, Cristobalita	Franco arenoso	5,6	3,7	86,2	1,0	1,0	0,8	3,02	8,71	10	12
Alanje Loc. 4, Chiriquí	Gibsita, Cristobalita	Franco arenoso	5,4	40,0	172,4	3,2	1,2	1,0	5,84	5,90	12	31
Cerro Punta, Chiriquí	Amorfos, cristobalita	Arenoso franco	5,7	91,7	216,0	20,2	3,4	0,8	24,95	20,8	79	15
Boquete, Chiriquí	Amorfos, cristobalita	Franco arenoso	5,5	7,5	47,0	6,3	2,2	0,8	9,42	2,95	17	15
Palmarito, Chiriquí	Amorfos, cristobalita	Franco arenoso	5,5	2,4	59,0	13,9	3,8	0,5	18,35	11,9	47	14
Altamira, Chiriquí	Amorfos, cristobalita	Franco arenoso	6,0	4,1	278,3	21,0	4,9	0,8	27,41	10,4	55	19

Procedencia	Arcilla predominante	Textura	pH	P	K	Ca	Mg	Al	CICE	MO	Mn	Fe
				mg/l		cmol(+)/kg				%	mg/l	
ANFISOLES												
Cocobola, Las Tablas, Los Santos	Caolinita-montmorilonita	Arcilloso	5,7	8,7	246,0	5,9	1,4	0,2	8,13	3,35	79	37
Paris, Herrera	Caolinita-montmorilonita	Franco arenoso	5,7	21,0	43,1	13,4	6,9	1,6	22,01	1,34	56	14
Los Carates, Ocú, Herrera	Caolinita-montmorilonita	Franco	5,7	9,5	105,0	6,2	1,7	1,2	9,3	2,01	13	0,01
Lajas, Penonomé, Coclé	Caolinita, montmorilonita	Arenoso franco	4,9	7,5	63,0	5,8	1,4	0,9	8,26	1,34	59	125
Guarumal-Sub Centro, Veraguas	Caolinita-haloisita-vermiculita	Franco arenoso	5,7	7,5	82,3	14,3	8,2	2,6	25,31	2,81	58	73
Manantial, Las Tablas, Los Santos	Caolinita-montmorilonita	Arcilloso	5,2	17,0	125,4	7,0	1,9	1,3	10,52	3,62	111	30
Las Tablas Abajo, Los Santos	Caolinita-montmorilonita	Arcilloso	5,9	12,5	431,2	11,6	5,5	1,3	19,51	4,42	92	38
El Ejido, Los Santos	Caolinita-vermiculita	Arcilloso	5,7	1,8	47,0	15,4	6,0	0,2	21,72	3,22	144	17
La Honda, Los Santos	Caolinita-vermiculita	Franco arenoso arcilloso	5,5	1,6	47,04	14,3	4,9	0,2	19,52	2,41	185	27
Llanos de Coclé, Coclé	Caolinita, montmorilonita	Arcilloso	5,5	1,8	121,5	21,2	6,4	0,3	28,21	3,48	251	75
Parita, Herrera	Caolinita-montmorilonita	Arcilloso	5,9	1,5	70,5	16,2	3,9	0,3	20,58	1,88	206	16
ULTISOLES												
Sajalices, Chorrera, Panamá	Caolinita-haloisita	Franco arenoso	5,2	0,5	141,1	5,6	2,0	1,2	9,16	3,08	109	57
Los Remedios, Ocú, Herrera	Caolinita-vermiculita	Franco	5,3	5,7	90,1	4,6	1,1	1,5	7,43	2,95	50	38
Calabacito; Veraguas	Caolinita-vermiculita	Arcilloso arenoso	5,1	8,7	39,2	5,8	1,8	3,6	11,30	1,47	7,0	7,0
Las Minas Soná, Veraguas	Caolinita-vermiculita	Franco arcilloso	5,7	8,2	102,0	7,2	1,8	1,5	10,76	2,10	32	28
Guarumal - Las Minas-Herrera	Caolinita-vermiculita	Franco arenoso	5,6	5,7	141,1	6,4	1,8	1,5	10,06	4,42	126	56

La metodología de extracción secuencial utilizada para el fraccionamiento del fósforo inorgánico del suelo, fue creada por Olsen y Sommers (1982) (Figura 2).

Igualmente, se fraccionó el fósforo orgánico según la metodología de Hedley (1982).

- P extraído con NaCO_3 0,5 M es la fracción de P orgánico lábil.
- P extraído con H_2SO_4 1M es la fracción de P orgánico moderadamente lábil.
- P extraído con NaOH 0,5 M es la fracción de P orgánico moderadamente resistente.

El contenido de P total se obtuvo de la suma de todas las fracciones.

La determinación del P en solución se realizó utilizando la metodología de

Murphey y Riley (Villarreal y Name 1996) empleando ácido ascórbico como agente reductor y la formación del complejo azul del ácido fosfomolibdico.

Se realizó un muestreo completamente al azar con cuatro repeticiones por muestra. Los análisis fueron realizados en el Laboratorio de Fertilidad de Suelos del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), ubicado en Divisa, Los Canelos, distrito de Santa María, provincia de Herrera.

Se elaboraron gráficas de la relación carbono/fósforo orgánico (C/Porg) para suelos dentro de cada orden del suelo y se realizó análisis de correlación entre las diferentes fracciones de fósforo.

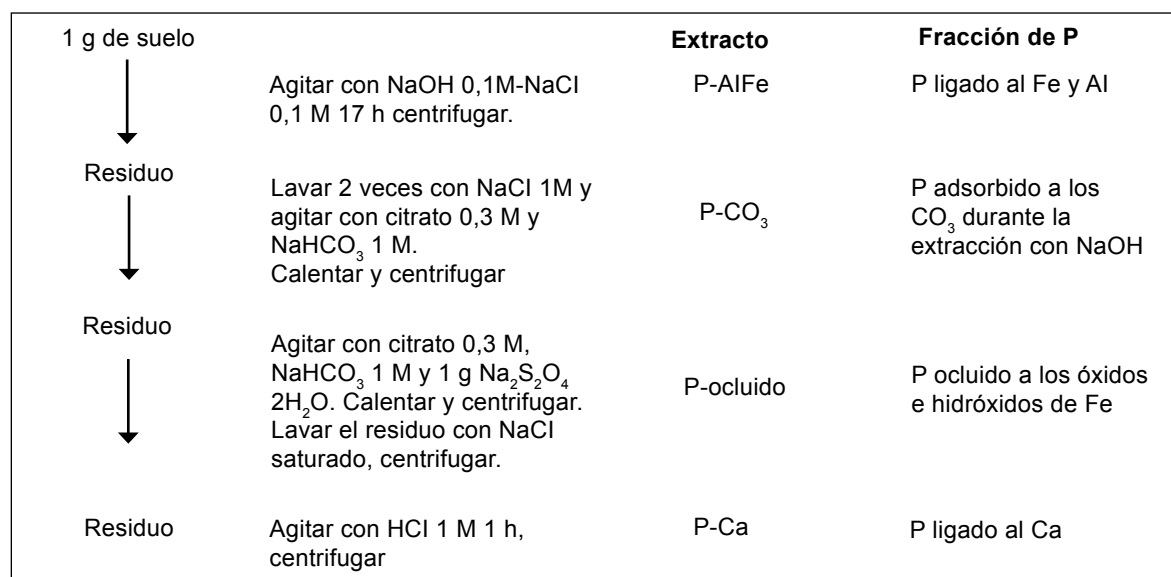


Figura 2. Metodología de extracción secuencial para el fraccionamiento del fósforo inorgánico.

RESULTADOS y DISCUSIÓN

El contenido de P total osciló entre 165 mg kg⁻¹ en el Alfisol de Tablas Abajo y 782 mg kg⁻¹ en el Andisol de Palmarito. Los suelos desarrollados a partir de sedimentos y con granulometría fina, presentaron mayor contenido de P total. Por el contrario, suelos muy intemperizados y textura gruesa, tenían menor contenido. En general, se puede observar que los suelos pertenecientes a los órdenes Ultisol (Cuadro 2) y Andisol (Cuadro 5), o sea, aquellos que tienen mayor capacidad de fijación de este nutriente (Villarreal 2012), mostraron un contenido mayor de P total.

Dentro de las fracciones inorgánicas predominaron las fracciones de P-FeAl en todos los suelos (promedio de 52% del total de las fracciones) principalmente en aquellos con una alta saturación de Al (> 70%). La fracción P-Ca fue menor en la mayoría de los suelos, con excepción de

algunos Alfisoles (Cuadro 3) e Inceptisoles (Cuadro 4) comunes en el llamado Arco Seco de Panamá. Los suelos muy intemperizados del orden Ultisol y los de origen volcánico, mostraron un elevado porcentaje de P-Ocluido. Esto coincide con Villarreal (2012) que encontró que los suelos pertenecientes a estas dos órdenes taxonómicas, poseen mayor capacidad de fijación de fósforo.

Destaca el caso de los suelos Inceptisoles (Cuadro 4) que a pesar de presentar elevado porcentaje de P-Ca y P-CO₃ al mismo tiempo mostraron alto porcentaje de P-Ocl. Según Villarreal (2012), los suelos del orden Inceptisol no son los que más fijan el fósforo, pero están entre los que lo retienen con mayor fuerza al presentar una elevada constante de retención. Fernández *et al.* (2002) determinaron en suelos de Argentina mayor contenido de P-ocl en Ultisoles y Oxisoles comparado con Alfisoles.

CUADRO 2. FRACCIONES DE FÓSFORO EN SUELOS ULTISOLES DE PANAMÁ-2014.

Suelo	P Inorgánico				P Orgánico			P Total
	P-Ca	P-FeAl	P-CO ₃	Pocl	P _o Lá	P _o MLá	P _o MR	Σ Total
	-----%							mg kg ⁻¹
Sajalices	3	52	9	29	4	2	1	497
Los Remedios	4	50	10	29	4	2	1	565
Calabacito	2	56	6	28	5	2	1	723
Las Minas-Soná	2	54	8	30	4	1	1	643
Guarumal	3	53	9	29	4	1	1	672
Promedio	2,8	53	8,4	29	4,2	1,6	1,0	620
Desv. Stand.	8,7	12,3	10,3	10,2	9,7	13,4	14,5	

P-Ca: fósforo unido al calcio; P-FeAl: fósforo unido a óxidos de hierro y aluminio; P-CO₃: fósforo unido a carbonatos; Pocl: fósforo ocluido; P_oLá: fósforo orgánico lábil; P_oMLá: fósforo orgánico moderadamente lábil; P_oMR: fósforo orgánico moderadamente resistente.

CUADRO 3. FRACCIONES DE FÓSFORO EN SUELOS ALFISOLES DE PANAMÁ-2014.

Suelo	P Inorgánico				P Orgánico			P Total
	P-Ca	P-FeAl	P-CO ₃	Pocl	P _o Lá	P _o MLá	P _o MR	Σ Total
	-----%-----							mg kg ⁻¹
Cocobola- Las Tablas	23	34	12	20	3	4	4	546
París-Parita	22	30	15	20	4	5	4	579
Los Carates-Ocú	17	38	10	23	3	5	4	655
Lajas-Penomé	24	32	14	22	2	4	2	345
Guarumal-Soná	16	40	10	25	3	4	2	368
Manantial- Las Tablas	27	31	15	22	1	2	2	284
Las Tablas Abajo	27	30	15	20	2	4	2	165
El Ejido	22	35	11	24	3	3	2	432
La Honda	22	34	11	24	3	4	2	421
Pedregosito-Pesé	24	31	13	22	3	4	3	512
Llanos de Coclé	23	31	14	23	3	4	2	238
Promedio	22,5	33,3	12,7	22,3	2,7	3,9	2,6	409,5
Desv. Stand.	12,5	9,7	11,4	11,7	12,4	13,5	14,2	

CUADRO 4. FRACCIONES DE FÓSFORO EN SUELOS INCEPTISOLES DE PANAMÁ-2014.

Suelo	P Inorgánico				P Orgánico			P Total
	P-Ca	P-FeAl	P-CO ₃	Pocl	P _o Lá	P _o MLá	P _o MR	Σ Total
	-----%-----							mg kg ⁻¹
Quirá-Chiriquí	23	28	10	29	3	4	3	675
Manaca-Chiriquí	23	28	9	29	4	4	3	653
Guarumal-Chiriquí	21	30	7	30	4	5	3	533
Gualaca	17	34	7	32	3	4	3	529
Río La Villa	25	26	11	26	5	5	2	689
Penonomé	19	28	11	29	5	5	3	513
El Coco-Coclé	19	28	11	29	4	6	3	455
Chepo-Cañita	15	32	10	30	4	6	3	575
Chepo-Felipillo	14	32	10	32	4	6	2	542
Chepo-Pacora	14	30	10	32	5	6	3	593
Chepo-Coquira	15	30	10	31	4	6	4	601
Promedio	18,6	29,6	9,6	29,9	4,1	5,2	2,9	578
Desv. Stand.	12,1	10,3	12,6	13,4	14,5	14,2	15,0	

CUADRO 5. FRACCIONES DE FÓSFORO EN SUELOS ANDISOLES DE PANAMÁ-2014.

Suelo	P Inorgánico				P Orgánico			P Total
	P-Ca	P-FeAl	P-CO ₃	Pocl	P _o Lá	P _o MLá	P _o MR	Σ Total
	-----%-----							mg kg ⁻¹
Alanje-Chiriquí	9	29	8	34	6	9	5	453
Alto Jaramillo-Chiriquí	11	25	8	38	6	8	4	745
Río Sereno	10	26	9	36	6	9	4	706
Cerro Punta	12	24	9	36	7	8	4	764
Boquete	11	24	9	38	5	8	5	712
Palmarito	9	26	10	39	5	7	4	782
Altamira	10	26	9	39	4	7	5	722
Promedio	10,3	25,7	8,9	37,1	5,6	8,0	4,4	689,7
Desv. Stand.	13,6	12,7	14,5	11,7	14,6	14,2	15,0	

Con relación al P-orgánico, se encontraron valores entre 14 mg kg⁻¹ y 182 mg kg⁻¹, sin embargo, en los suelos muy meteorizados como son los Ultisoles, la fracción de P orgánico-lábil (PoLá), predominó sobre las otras. Demostrando la importancia de mantener un contenido de materia orgánica mayor de 2% en estos suelos muy degradados.

Hubo correlación positiva y significativa al 0,05 de probabilidad entre la fracción de P total y contenido de arcilla (0,86); carbono orgánico y P orgánico total (0,72) y Saturación de Al y P-FeAl (0,94) (Cuadro 6). Igualmente, presentó correlación altamente significativa al 0,01 de probabilidad la relación entre P-Ocl con porcentaje de saturación de

aluminio (0,89). Resultados similares a los encontrados en este experimento fueron obtenidos por Yang *et al.* (2012) y Yu *et al.* (2014) en suelos de China Continental.

El mayor porcentaje de fósforo orgánico (P-org), se encontró en suelos de orden Andisol seguido de los Inceptisoles y Alfisoles. Los Ultisoles mostraron el menor contenido, sin embargo, es el orden de suelo que presenta el mayor porcentaje de P_oLá, coincidiendo con el trabajo realizado por Villarreal y Name (2003) en suelos de la Finca Experimental de Calabacito en la provincia de Veraguas-Panamá y Crews y Brookes (2014) en suelos del Reino Unido (Figura 3). El mayor contenido de P-inorgánico lo presentaron los Ultisoles (93%) y el menor los Andisoles con 82%.

CUADRO 6. CORRELACIONES DE PEARSON ENTRE LAS DIFERENTES FRACCIONES DE P Y ALGUNAS PROPIEDADES DEL SUELO.

Variable	P-Ca	P-FeAl	P-CO ₃	P ocl	P _o Láb	P _o MLáb	P _o MR	P Total
pH	0,013	-0,118	-0,256	-0,466	0,482	0,335	-0,548	0,023
(1:2,5)	(0,65)	(0,23)	(0,15)	(0,23)	(0,09)	(0,16)	(0,42)	(0,21)
% MO	0,257	0,223	0,458	-0,538	0,764	0,659	-0,574	0,762
	(0,17)	(0,32)	(0,21)	(0,17)	(0,05*)	(0,07)	(0,20)	(0,05*)
% Arcilla	0,178	0,485	0,045	0,674	0,012	0,255	0,631	0,862
	(0,26)	(0,15)	(0,36)	(0,05*)	(0,67)	(0,23)	(0,08)	(0,05*)
% Arena	-0,453	-0,499	-0,517	-0,753	-0,245	-0,135	-0,252	-0,784
	(0,05*)	(0,05*)	(0,05*)	(0,01**)	(0,62)	(0,35)	(0,42)	(0,01**)
% Sat Al	-0,631	0,946	-0,672	0,891	-0,471	-0,452	0,614	-0,735
	(0,14)	(0,05*)	(0,05*)	(0,01**)	(0,25)	(0,14)	(0,07)	(0,06)
CIC	0,841	-0,398	0,579	-0,378	0,583	0,382	0,147	0,428
(cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)	(0,05*)	(0,11)	(0,13)	(0,09)	(0,07)	(0,09)	(0,24)	(0,16)
Fe	-0,265	0,893	-0,658	0,914	-0,482	-0,173	0,628	0,472
(mg kg ⁻¹)	(0,15)	(0,05*)	(0,07)	(0,01**)	(0,17)	(0,11)	(0,06)	(0,08)

El número entre paréntesis indica la probabilidad del coeficiente.

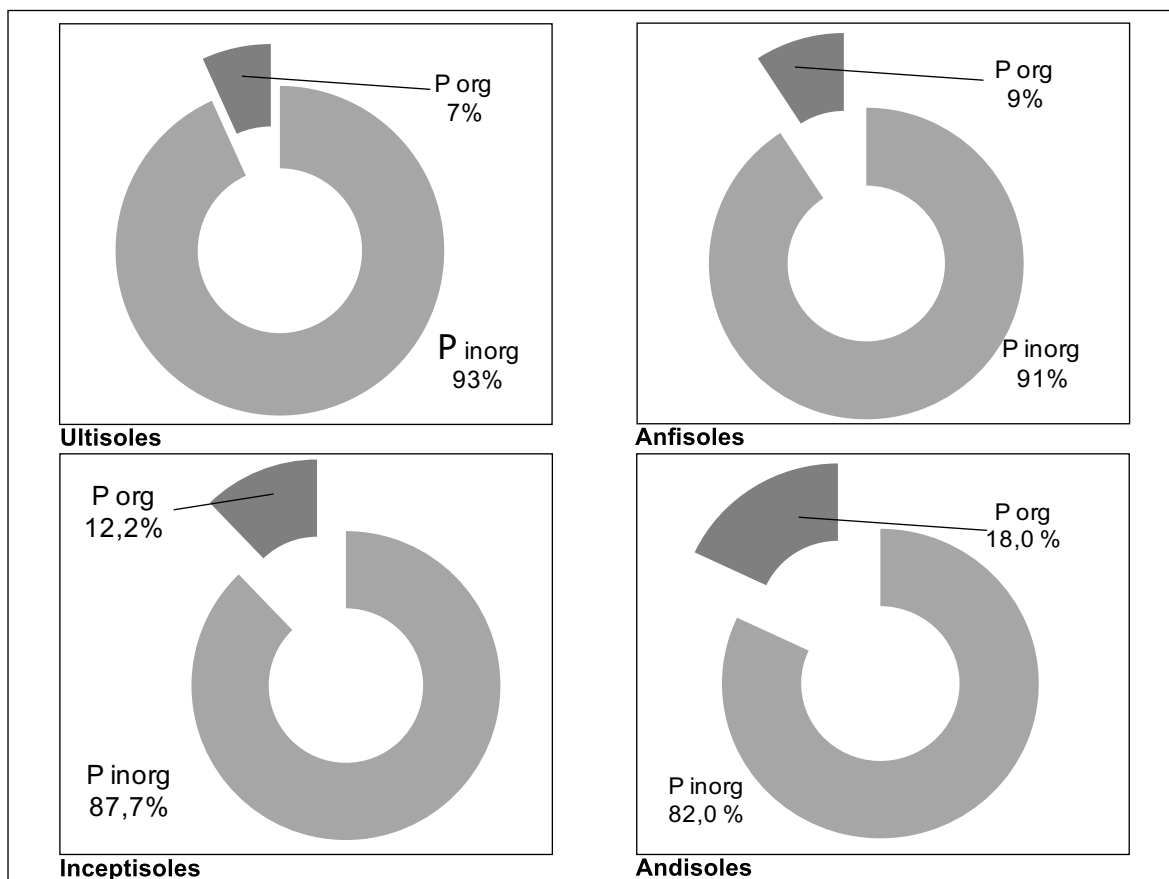


Figura 3. Porcentaje que representa la fracción de P orgánico y P inorgánico, según orden del suelo, Panamá-2014.

Con relación a la relación C/P-org total (Figuras 4 y 5), se encontró que los Alfisoles presentaron una elevada relación (305) mientras que la más baja fue obtenida para los Inceptisoles (175). Esto demuestra que en los Inceptisoles el aporte de P-orgánico por parte de la capa

orgánica del suelo es muy significativo, contribuyendo a mejorar su fertilidad. Los Ultisoles y Andisoles mostraron valores de la relación C/P-org total dentro de los intervalos considerados adecuados (Craft y Chiang 2002).

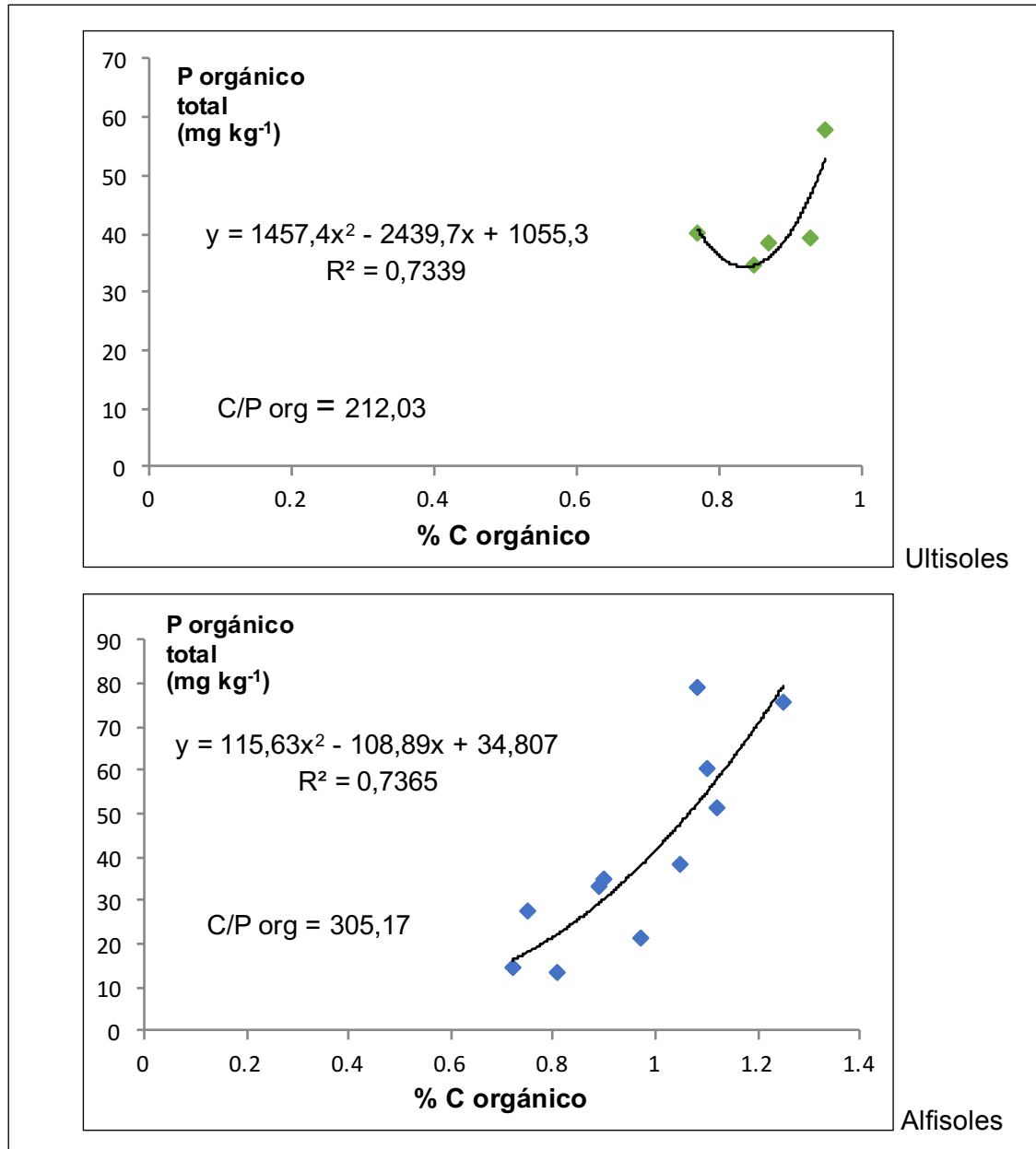


Figura 4. Relación carbono orgánico vs P total en suelos Ultisoles y Alfisoles, Panamá-2014.

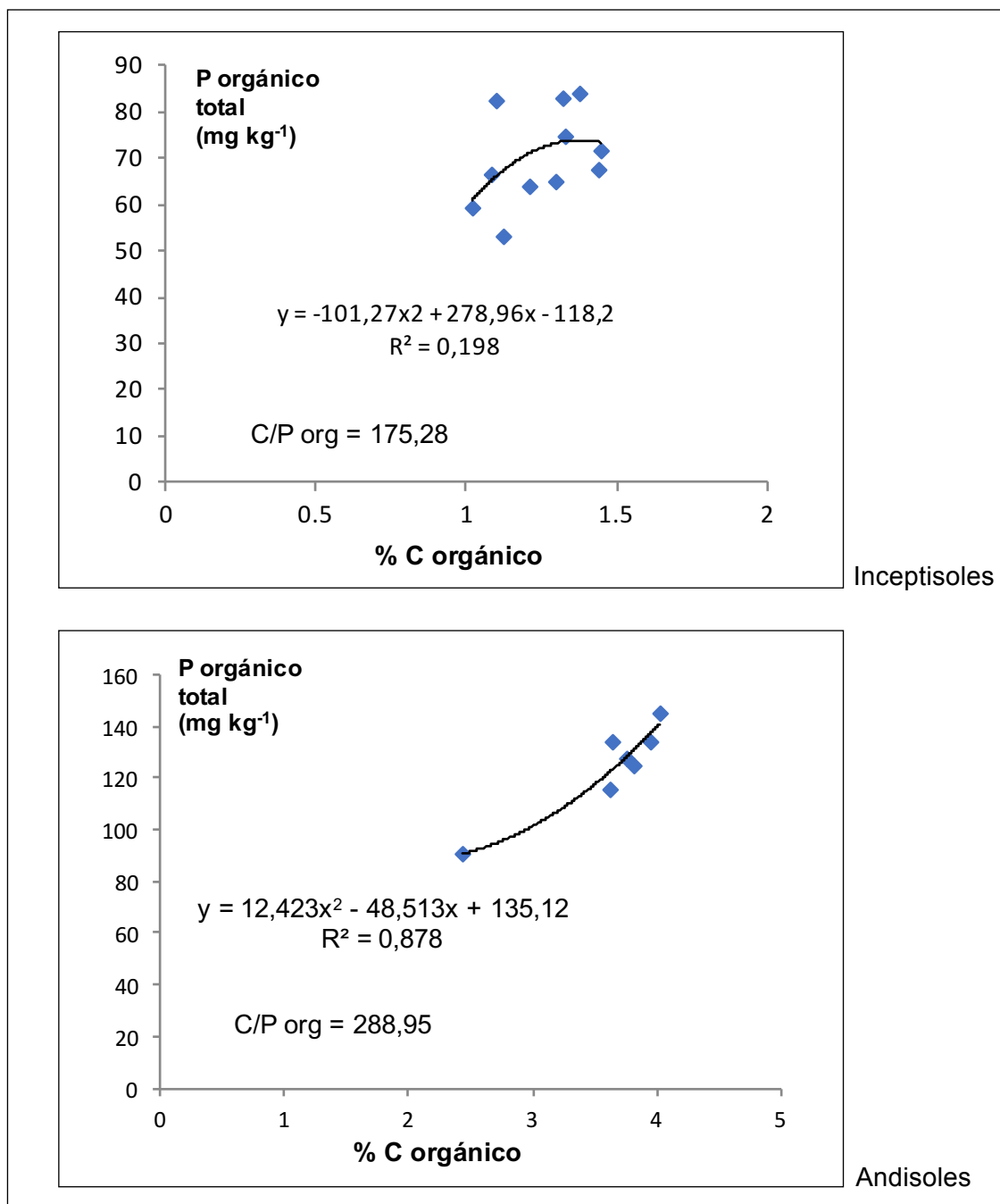


Figura 5. Relación entre carbono orgánico vs P total en suelos Inceptisoles y Andisoles, Panamá-2014.

CONCLUSIONES

- La caracterización del contenido de P presente en los suelos de Panamá, permitió establecer una variación importante en función del material madre que dio origen a los suelos y condiciones de meteorización. Material madre de granulometría más fina dieron origen a suelos con mayores contenidos de P total en contraste con los derivados de areniscas que contienen menor P total.
- El contenido de P total fue mayor en los Andisoles>Ultisoles>Inceptisoles>Alfisolos y en todos predominó la fracción P-FeAl, y los Alfisoles mostraron una importante fracción de P-Ca.
- En los Ultisoles la fracción de P orgánico lábil predominó sobre las otras, indicando que en estos suelos con alta saturación de aluminio y muy degradados, es muy importante el manejo y mantenimiento de los niveles de materia orgánica que podría contribuir a mejorar la presencia de P asimilable en estos.
- Los resultados muestran la importancia de profundizar en el conocimiento de las interacciones entre las propiedades del suelo y los equilibrios del P para aumentar la eficiencia de la fertilización fosfatada a largo plazo.

BIBLIOGRAFÍA

- Chang, S; Jackson, M. 1957. Soil phosphorus fractions in some representative soils. *J. Soil Sci.* 9:109-119.
- Cordell, D; Drangert, J; White, S. 2009. The story of phosphorus: Global food security and food for thought. *Global Environment Change* 19(2):292-305.
- Craft, C; Chiang, C. 2002. Forms and Amounts of Soil Nitrogen and Phosphorus Across a Longleaf Pine–Depressional Wetland Landscape. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66:1713-1721.
- Crews, T; Brookes, P. 2014. Changes in soil phosphorus forms through time in perennial versus annual agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 184:168-181.
- Fernández, C; Vázquez, S; Dalurzo, H. 2002. Formas de fósforo en suelos altamente meteorizados del sur de la provincia de Misiones. *Ciencia del Suelo* 20(2):81-87.
- Hedley, M; Steward, J; Chauhan, B. 1982. Changes in inorganic and organic phosphorus fractions induced by cultivation practices and by

- laboratory incubations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46:970-976.
- Olsen, SR; Sommers, LE. 1982. Phosphorus methods of soil analysis, part 2. *In* Page, AL; Miller, RH; Keeney, QR. (Eds.), *Chemical and Microbiological Properties*. first ed. Soil Science Society of America, Madison, p.403–430.
- Pinochet, D; Epple, G; MacDonald, R. 2001. Fracciones de fósforo orgánico en un transecto de suelos de origen volcánico y metamórfico. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal* 1:58-69.
- Richardson, E; Lynch, J; Ryan, R; Dehaize, E; Smith, F; Smith, S; Harvey, P; Ryan, M. 2011 Plant and microbial strategies to improve the phosphorus efficiency in agriculture. *Plant Soil* 349:121-156
- Vázquez, S; Morales, A. 2000. Adsorción de fósforo por suelos ácidos de Misiones (Argentina). *Ciencia del Suelo* 18:89-94.
- Villarreal, J; Name, B; García, R. 2013. Zonificación de suelos de Panamá en base a niveles de nutrientes. *Ciencia Agropecuaria* no. 21:71-89.
- Villarreal, J. 2012. Determinación de la adsorción máxima de fósforo en suelos de Panamá mediante Isotermas de Langmuir. *In* LVII Reunión anual del PCCMCA. 23 – 27 de abril de 2012. Hotel El Panamá, Panamá.
- Villarreal, J; Name, B. 2003. Dinámica biológica y de nutrimentos en un ultisol con diferente cobertura vegetal. Calabacito, Panamá. 1990 – 1996. *Ciencia Agropecuaria* no. 13:59-80.
- Villarreal, J; Name, B. 1996. Técnicas analíticas del laboratorio de suelos del IDIAP. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. Divisa. 120 p.
- Yang, W; Cheng, H; Hao, F; Ouyang, W; Lin, S; Lin, C. 2012. The influence of land-use change on the forms of phosphorus in soil profiles from the Sanjiang Plain of China. *Geoderma*. 189-190:207-214.
- Yu, J; Wu, H; Meng, L; Du, S; Xie, B. 2014. Soil phosphorus forms and profile distributions in the Tidal river network region in the Yellow River delta estuary. *The Scientific World Journal* 2014:1-11.