

ESTUDIO DE LOS FOSFATOS INORGANICOS EN
RELACION CON EL GRADO DE EVOLUCION
EN ANDOSOLES

por

F. GUTIERREZ JEREZ, J. A. PEREZ MENDEZ, E. FERNANDEZ CALDAS
y A. BORGES PEREZ



PUBLICADO EN
ANALE DE EDAFOLOGIA Y AGROBIOLOGIA
Tomo XXXVIII, Núms. 9-10 — MADRID, 1979

ESTUDIO DE LOS FOSFATOS INORGANICOS EN RELACION CON EL GRADO DE EVOLUCION EN ANDOSOLES

por

F. GUTIERREZ JEREZ, J. A. PEREZ MENDEZ, E. FERNANDEZ CALDAS
y A. BORGES PEREZ

SUMMARY

STUDY OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE INORGANIC PHOSPHATES AND THE WEATHERING DEGREE OF THE CANARY ISLANDS ANDOSOLS

The relationship of the several fractions of the inorganic phosphates, extracted by the Chang-Jackson method, with the weathering degree of the Canary Islands andosols show the following trend:

1. The fractions P-Ca and P-Al decrease as the weathering degree increase, giving the aluminium phosphate a maximum in the Evolved Vitrandepts.
2. The fraction P-Fe has not very much variation in the sequence, excluding the profil Manantiales, which has a very high values comparably to the other profiles.
3. The P-occluded tends to increase with the weathering degree.

Chang-Jackson's hypothesis goes quite well to these soils, because the different forms of soil inorganic phosphates are related with the weathering degree according to the following tendence: P-Ca, P-Al, P-Fe, P-occluded.

INTRODUCCIÓN

Walker establecía en 1964 que posiblemente el fósforo es un elemento clave en la edafogénesis, debido a su gran significado ecológico. Estudios posteriores han ido confirmando dicha afirmación, si bien es necesario aún disponer de mucha más información para delimitar su verdadero significado.

Así, las transformaciones de las formas de fósforo en los suelos han sido utilizadas en varios estudios como indicador de las intensidades relativas de la alteración del suelo (Chang y Jackson, 1958; Al-Abbas y Barber, 1964; Chang y Juo, 1963).

Se ha acumulado una importante información del estudio de diferentes secuencias de suelos (climo, crono, toposecuencias, etc.).

En estudios de cronosecuencias, Goffrey y Riecken (1954), Bauwin y Tyner (1957) y Walker (1964), han comprobado que la cantidad y formas de fósforo en los suelos suministra un índice de la edad relativa de los suelos estableciendo que el aumento de los fosfatos ocluidos con

el tiempo es uno de los mejores indicadores de la edad relativa del suelo.

Aunque desde hacía mucho tiempo se había intentado establecer la dinámica de las transformaciones de los fosfatos inorgánicos que se producen en los procesos edafológicos, para lo cual se habían propuesto diversos esquemas de fraccionamiento (Dean, 1938; Chirikov, 1939; Ghani y Aleen, 1943; Williams, 1950), fue en 1957 cuando se produjo un hito importante en el estudio de esta temática con la publicación del esquema de fraccionamiento propuesto por Chang y Jackson, ya que a partir de este estudio prácticamente todas las investigaciones encaminadas a fraccionar los fosfatos inorgánicos, utilizan dicho esquema o lo modifican en algunos aspectos para aumentar su efectividad.

Teniendo en cuenta esta peculiaridad nos proponemos en el presente artículo dar cuenta de las tendencias de las diversas fracciones de los fosfatos inorgánicos en una secuencia de suelos de características ándicas, ordenados por su grado de evolución, basándonos para ello en criterios físico-químicos como son, su análisis mecánico y la mineralogía de arcillas, ya que no disponemos de los medios necesarios para una correcta datación.

MATERIAL Y MÉTODOS

Los suelos utilizados en este estudio son los mismos que se reseñaron en un trabajo anterior (Pérez Méndez, 1978) y que corresponden a diferentes andosoles de las Islas Canarias, formando una cronosecuencia:

Vitrandepts: Zabagu y Chinyero.

Vitrandepts evolucionados: Izaña y Portillo.

Dystrandepts: Aguamansa I y Aguamansa II.

Intergrados Andosol-Tierra parda oligotrófica: Manantiales y Pico del Inglés.

En cuanto al método de fraccionamiento de los fosfatos inorgánicos utilizamos el de Chang y Jackson (1957) modificado por Glenn y col. (1959).

Análisis de los resultados en relación con el grado de evolución de los suelos

Los porcentajes de fósforo inorgánico de cada fracción con respecto al fósforo inorgánico total extraído por el método de Chang-Jackson presentan, con el grado de alteración de los suelos estudiados, las siguientes tendencias:

Los fosfatos de Ca y Al (gráficas 1 y 2) disminuyen al aumentar la alteración presentando los últimos un máximo correspondiente a los suelos del grupo de los Vitrandepts evolucionados. Los fosfatos de hierro (gráfica 3) no presentan grandes variaciones, excepto el perfil Manantiales, que presenta un porcentaje algo superior al resto de los

TABLA I

Fraccionamiento de los fosfatos inorgánicos (los valores de P están expresados en ppm)

Perfil	Hor.	P-Al (NH ₄ F)	P-Fe (1-NaOH)	P-sol. red. (Ditio-Cit.)	P-ocluido (2-NaOH)	P-Ca (H ₂ SO ₄)	P-inorg. extr.
Zabagú	A	708	750	229	272	354	2.313
	(B)	725	874	255	333	471	2.654
	(B)/C	258	556	135	206	515	1.670
Chinyero.....	A	968	809	132	233	371	2.513
	(B)	265	385	26	265	265	1.206
Izaña	A	1.032	385	77	55	209	1.758
	(B)	270	243	86	43	162	804
	(B)/C	53	127	63	32	81	356
Portillo	A	676	358	37	85	371	1.527
	A ₁	757	330	55	148	132	1.422
	(B)	602	322	39	129	33	1.125
	(B)/C	270	189	43	54	34	590
Aguamansa I...	A	452	495	180	209	169	1.505
	(B)	249	409	246	210	35	1.149
	(B)/C	56	178	334	78	25	671
Aguamansa II...	A	361	375	161	211	127	1.235
	(B) ₁	300	442	154	308	177	1.381
	(B) ₂	251	472	165	318	130	1.336
	(B)/C	552	799	273	377	180	2.181
Manantiales	A	27	138	—	116	13	294
	(B)	28	104	55	139	13	429
	(B)/C	54	327	180	202	22	785
Pico del Inglés...	A ₁₁	50	125	260	66	30	531
	A ₁₂	tr.	108	340	103	11	562
	B ₂₁	tr.	203	329	178	18	728
	B ₂₂	tr.	351	540	265	22	1.178

suelos. El P-ocluido (gráfica 4) muestra una tendencia a aumentar con el grado de alteración de los suelos.

Estas mismas tendencias generales se mantienen prácticamente cuando los valores de fósforo en las diferentes fracciones se expresan como porcentajes con respecto al contenido en fósforo total de los suelos determinado por el método de digestión HF/HNO₃ (gráficas 1 a 4).

Cabe destacar sin embargo, que el perfil Manantiales se desvía notablemente en el caso de las fracciones P-Fe (gráfica 3) (valor máximo como % P inorgánico y valor mínimo como % P total) y P-ocluido (gráfica 4), y la similitud de los valores en el horizonte A₀ del perfil Portillo.

TABLA II

Fractionamiento de los fosfatos inorgánicos (los valores de P están expresados en ppm)

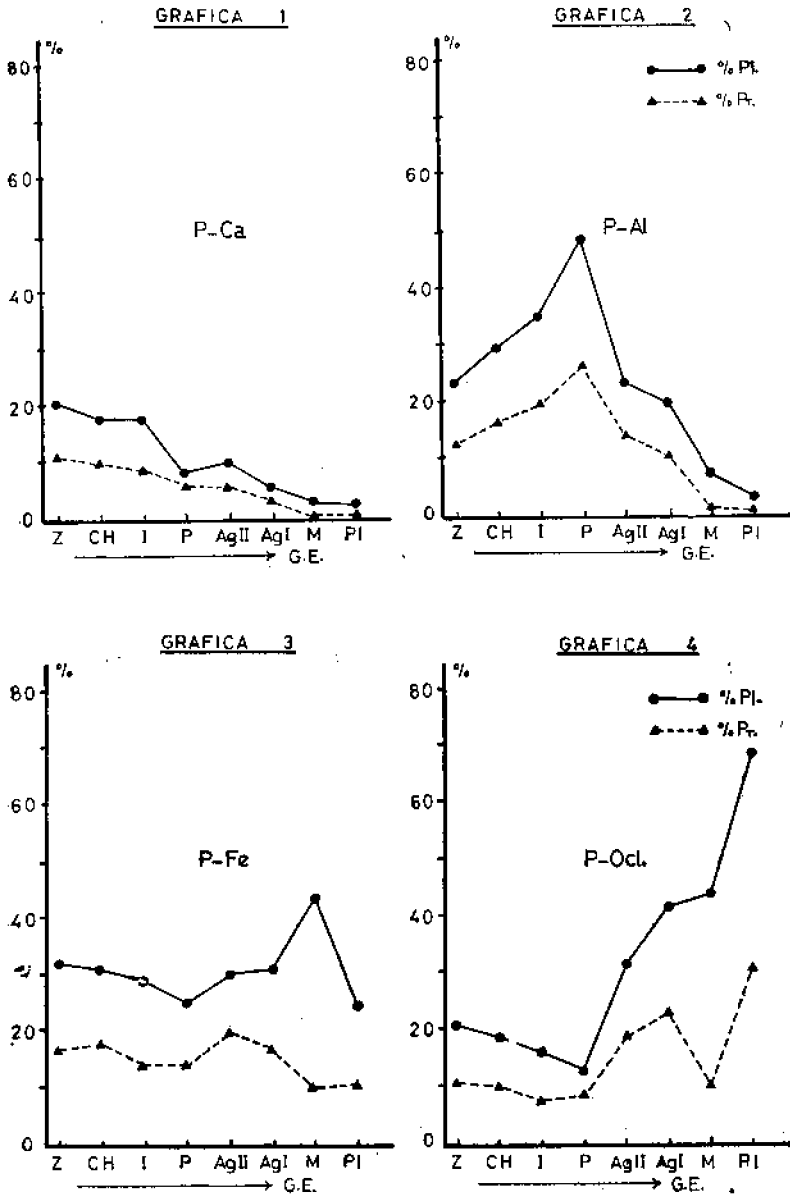
Perfil	Hor.	Fracción I P-Ca	Fracción II P-no ocluido	Fracción III P-ocluido	P-activo Frac. I + II	Frac. I + II Fracción III	Fracción I Fracción II	P-Al P-Fe
Zabagú	A	354	1.458	501	1.812	3,60	0,24	0,94
	(B)	471	1.595	588	2.066	3,50	0,29	0,82
	(B)/C	515	814	341	1.329	3,80	0,63	0,46
Chinyero.....	A	371	1.777	365	2.148	5,80	0,20	1,19
	(B)	265	650	291	915	3,10	0,40	0,68
Izaña	A	209	1.417	132	1.626	12,30	0,14	2,68
	(B)	162	513	129	675	5,20	0,31	1,11
	(B)/C	81	180	95	281	2,70	0,45	0,41
Portillo	A ₀	371	1.034	122	1.405	11,50	0,32	1,89
	A ₁	132	1.087	203	1.219	6,00	0,12	2,29
	(B)	33	924	168	975	5,60	0,18	1,86
	(B)/C	34	459	97	493	5,00	0,21	1,42
Aguamansa I ...	A	169	947	389	1.116	2,80	0,17	0,91
	(B)	35	658	456	693	1,50	0,05	0,60
	B)/C	25	234	412	259	0,60	0,10	0,31
Aguamansa II...	A	127	736	372	863	2,30	0,17	0,96
	(B) ₁	177	742	462	919	1,90	0,23	0,67
	(B) ₂	130	723	483	853	1,70	0,17	0,53
	(B)/C	180	1.351	650	1.531	2,30	0,13	0,69
Manantiales	A	13	165	116	178	1,50	0,07	0,19
	(B)	13	222	194	235	1,20	0,05	0,14
	(B)/C	22	381	382	403	1,05	0,05	0,16
Pico del Inglés ..	A ₁₁	30	175	326	205	0,60	0,17	0,40
	A ₁₂	11	108	443	119	0,26	0,10	—
	B ₂₁	18	203	507	221	0,43	0,08	—
	B ₂₂	22	351	805	373	0,46	0,06	—

TABLE III

Fractionamiento de los fosfatos inorgánicos. Porcentajes con respecto al P-inorgánico y P-total

Perfil	Hor.	P-Al		P-Fe		P-Fracción I		P-Fracción II		P-Fracción III		P-activo	
		% P _i	% P _t	% P _i	% P _t	% P _i	% P _t	% P _i	% P _t	% P _i	% P _t	% P _i	% P _t
Zabagú	A	30,6	15,8	32,4	16,7	15,3	7,9	63,0	32,6	21,6	11,2	78,3	40,5
	(B)	27,1	15,8	32,9	19,2	17,7	10,3	60,0	35,0	22,1	12,9	77,8	45,3
	(B)/C	15,4	7,7	32,2	16,5	30,8	15,3	48,7	24,1	20,4	10,1	79,5	39,4
Chinyero	A	38,5	22,8	32,1	19,1	14,7	8,7	70,6	41,9	14,5	8,6	85,4	50,6
	(B)	21,9	11,8	31,9	17,2	21,9	11,8	53,8	29,0	24,1	13,0	75,8	40,8
Izaña	A	58,7	37,5	21,8	14,0	11,8	7,6	80,6	51,5	7,5	4,8	92,5	59,1
	(B)	33,5	16,1	30,2	14,5	20,1	9,6	63,7	30,6	16,1	7,7	83,8	40,2
	(B)/C	14,8	6,2	35,6	14,9	22,8	9,5	50,4	21,1	26,7	11,2	73,2	30,6
Portillo	A ₀	44,2	26,5	23,4	14,0	17,3	14,5	67,7	40,5	7,9	4,8	85,0	55,0
	A ₁	53,2	28,1	23,2	12,2	9,2	4,8	76,4	40,3	14,3	7,5	85,6	49,1
	(B)	53,5	27,1	23,6	14,5	2,9	1,4	82,1	41,6	14,9	7,5	85,0	43,0
	(B)/C	45,7	25,2	32,0	17,6	5,8	3,2	77,6	42,8	16,4	9,0	83,4	46,0
Aguamansa I ...	A	30,0	17,0	32,8	18,6	11,2	6,3	62,8	35,6	25,8	14,6	74,0	46,9
	(B)	21,6	10,3	35,5	17,0	3,0	1,4	57,2	27,3	39,6	19,0	60,2	28,7
	(B)/C	8,3	5,0	26,5	16,0	3,8	2,2	34,8	21,0	61,3	37,1	38,6	23,2
Aguamansa II ...	A	29,2	15,4	30,3	16,1	10,3	5,4	59,5	31,5	30,0	15,9	69,8	36,9
	(B) ₁	21,7	13,1	32,0	19,4	12,7	7,7	53,7	32,6	33,4	20,2	66,4	40,2
	(B) ₂	18,7	10,6	35,3	20,0	9,7	5,5	54,1	30,6	36,1	20,4	63,8	36,1
	(B)/C	25,3	17,3	36,6	25,0	8,2	5,6	61,9	42,3	29,8	20,3	70,1	47,9
Manantiales	A	9,1	1,4	46,9	7,3	4,4	0,7	56,1	8,7	39,3	6,2	60,5	9,4
	(B)	6,5	1,2	45,2	8,6	3,1	0,5	51,6	9,8	45,2	8,6	54,7	10,3
	(B)/C	6,8	2,4	41,6	14,6	2,7	0,9	48,6	17,0	48,6	17,1	51,3	17,9
Pico del Inglés ..	A ₁₁	9,4	4,1	23,5	10,3	5,6	2,4	32,9	14,4	61,4	26,9	38,4	16,8
	A ₁₂	—	—	19,2	8,0	1,9	0,8	19,2	8,0	78,8	32,8	21,1	8,8
	B ₂₁	—	—	27,8	11,0	2,5	0,9	27,8	11,0	69,6	27,6	69,9	11,9
	B ₂₂	—	—	29,7	16,6	1,8	1,0	29,8	16,6	68,3	38,2	31,6	17,6

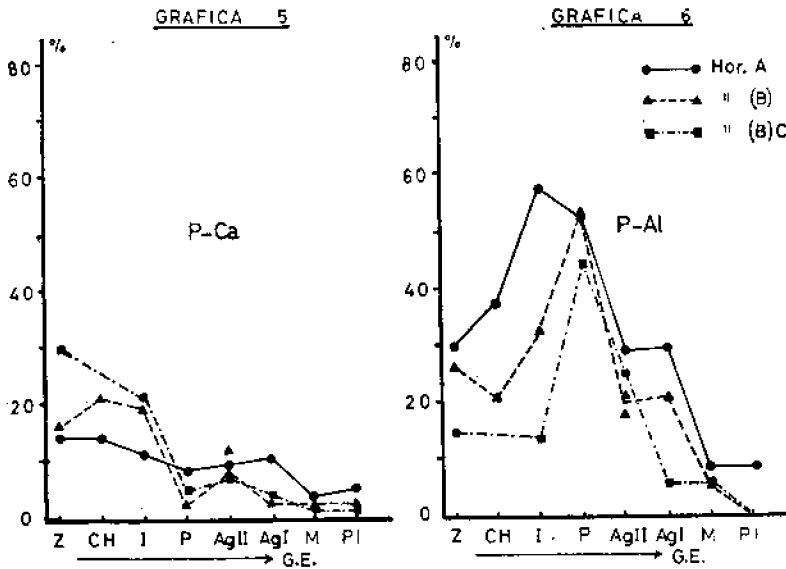
LOS FOSFATOS INORGÁNICOS EN RELACIÓN CON LA EVOLUCIÓN EN ANDOSUELOS 1483



Como han indicado varios autores, entre ellos Williams y Walker (1969), parece más adecuado comentar los resultados en % que en ppm, y siendo la práctica habitual utilizar los porcentajes con respecto a P inorgánico, es por lo que hemos decidido utilizar estos valores en los comentarios siguientes, cuando se utilicen los porcentajes con respecto al fósforo total, se especificará en cada caso.

Si tenemos en cuenta, al analizar estas tendencias, los valores que presentan los diferentes horizontes, observamos que:

En la fracción P-Ca (gráfica 5), la tendencia a la disminución a medida que avanzamos en la secuencia es bastante clara en los horizontes (B) y (B)/C, mientras que los % de los horizontes A se mantienen aproximadamente constantes, con valores mínimos en los Intergrados Andosol-Tierra parda oligotrófica.



Por otra parte, observamos en esta misma fracción, al avanzar la secuencia, dos tipos de tendencias al profundizar en los perfiles:

a) En Zabagu, Chinyero e Izaña, la proporción de P-Ca en los horizontes (B)/C es más alta que en los horizontes superiores; esto es típico de suelos jóvenes ya que, por un lado, las pérdidas por lixiviación, que afectan principalmente a los fosfatos de calcio, no son muy acusadas, y por otro a que la vegetación aún no ha agotado las reservas originales de fosfatos en los horizontes inferiores (lo que se evidencia por la gran cantidad de minerales primarios encontrados en el análisis mineralógico de dichos suelos (Cabezas Viaño, 1975).

b) En los perfiles restantes (Portillo, Aguamansa I y II, Manantiales y Pico del Inglés) los porcentajes superiores corresponden a los horizontes A, presentando los demás horizontes porcentajes inferiores al 10 por 100. Esto puede ser explicado en función de los aportes de P-Ca por los restos vegetales que mantienen unos niveles más o menos constantes en los horizontes superiores, siendo además el calcio uno de los cationes retenidos por los compuestos húmicos y que, a su vez, forma puentes entre éstos y los iones fosfato (Gaucher, 1973). En estos suelos no se observan diferencias tan notables entre los horizontes A y los (B)/C, y el hecho de que los horizontes A presenten valores superiores, justifica plenamente la actuación del factor vegetación.

En la fracción P-Al (gráfica 6) observamos una desviación de la tendencia general a disminuir, a medida que aumenta la evolución de los suelos, presentándose un máximo acusado en el horizonte A de Izaña —sus horizontes inferiores siguen la tendencia general— y en todos los horizontes del perfil Portillo, que presentan valores análogos.

Esta semejanza entre el horizonte A de Izaña y el perfil Portillo concuerda con la interpretación dada por Fernández Caldas y Tejedor Salguero (1975) en el sentido de que Izaña parece ser un suelo complejo pardo desaturado rejuvenecido ándico cuya zona superficial se aproxima fuertemente al perfil Portillo, pudiendo corresponder su parte inferior a un antiguo suelo pardo más arcilloso, y cuyo rejuvenecimiento se debe a aportes recientes de cenizas fonolíticas ricas en Al. Los valores semejantes que presentan todos los horizontes del perfil Portillo pueden ser consecuencia del carácter coluvial de este suelo situado en la base de una ladera.

Los valores máximos que presentan todos estos horizontes en la fracción P-Al pueden ser interpretados, de acuerdo con la secuencia de transformación de fosfatos propuesta por Chang y Jackson (1958), como una acumulación debida al primer tipo de transformaciones que suceden en los compuestos de fósforo en suelos: P-Ca \rightarrow P-Al. Walker y Adams (1968) encontraron tendencias semejantes al estudiar una secuencia de suelos desarrollados sobre material basáltico.

Se observa, por otro lado, una mayor diferenciación en las proporciones de P-Al entre los horizontes de un mismo perfil que en las restantes fracciones, siendo los horizontes A los más ricos, disminuyendo en (B) y (B)/C, lo que podría indicar la influencia de la materia orgánica en la acumulación de los fosfatos de aluminio.

El máximo que presenta el perfil Manantiales, como conjunto en la fracción P-Fe (gráfica 7), debemos atribuirlo a la mayor riqueza en hierro de este perfil, gran parte del cual se encuentra en forma de hidratos férricos que poseen un gran poder de fijación de fosfatos, incluso superior al de las arcillas (Gaucher, 1973).

Los porcentajes inferiores de esta fracción corresponden a los horizontes A y los superiores a los horizontes (B)/C, excepto en el perfil Manantiales y en los horizontes superiores del perfil Pico del Inglés, lo que puede indicar una mayor participación, en estos suelos más evolucionados, del hierro en la formación de complejos fosfato-Fe-materia orgánica (o arcilla).

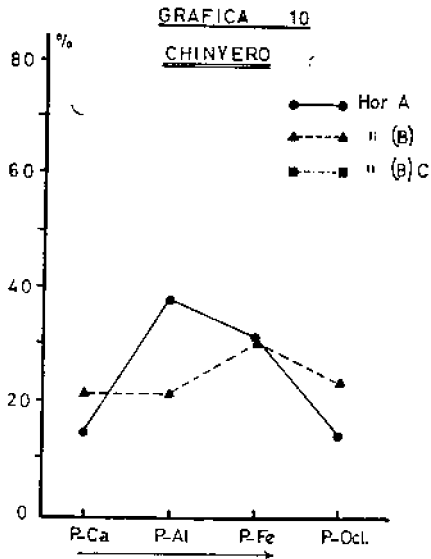
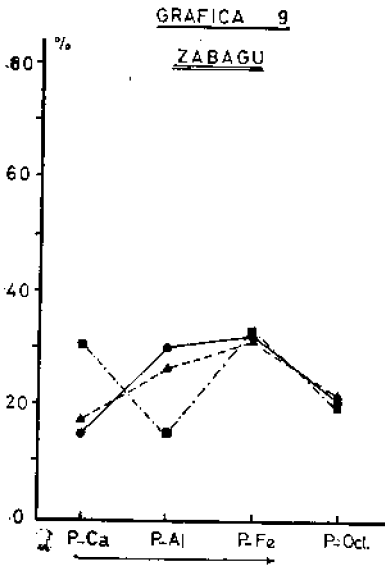
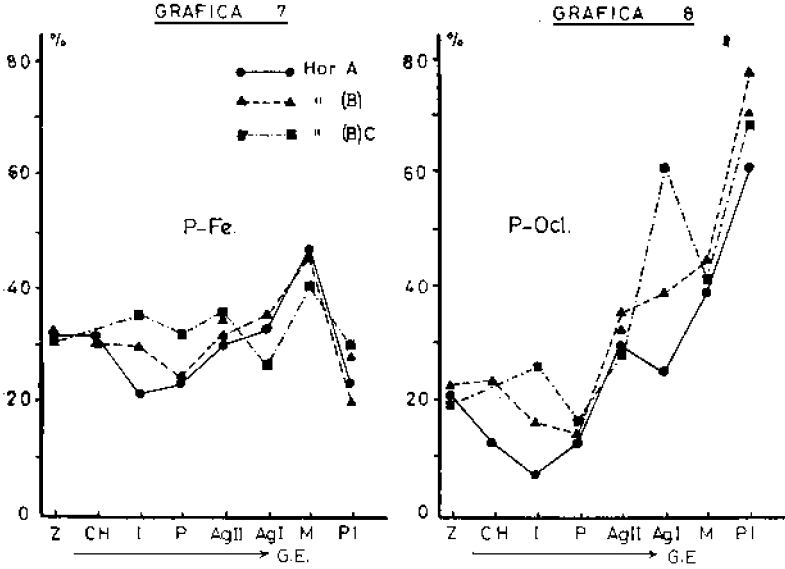
En la fracción P-ocluido (gráfica 8) se observan tendencias opuestas a las de la fracción P-Al: aumentan los porcentajes con la evolución de los suelos, presentando el suelo más evolucionado valores superiores al 60 por 100, y los horizontes A son los de menor contenido dentro de un mismo perfil, correspondiendo los valores mínimos al horizonte A de Izaña y a los del perfil Portillo.

Es evidente el contenido menor de fosfatos ocluidos en los horizontes superiores, ya que la mayor riqueza en materia orgánica impide, en alguna medida, la formación de dicho tipo de fosfatos. Por otra parte, el carácter eluvial de estos horizontes hace que la formación de costras y recubrimientos de óxidos esté más favorecida en los horizontes inferiores, dando lugar como consecuencia, a una mayor formación de formas ocluidas de fósforo.

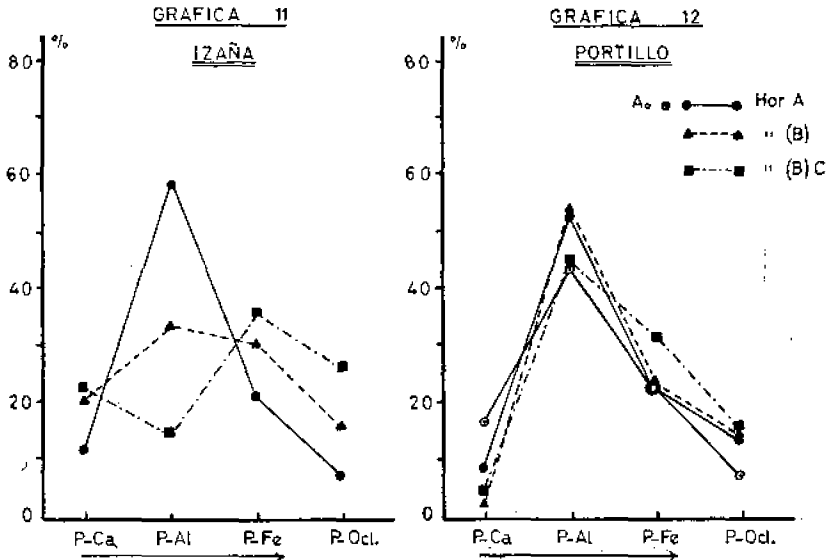
Cabe señalar, en esta fracción, la desviación acusada del horizonte (B)/C de Aguamansa I, caso que comentaremos más adelante.

Cuando comparamos los porcentajes de cada fracción en un mismo perfil observamos diferencias notables según el grado de evolución de los suelos:

Así, las gráficas correspondientes a los perfiles Zabagu, Izaña y Chinyero (gráficas 9, 10, 11, respectivamente), presentan la forma co-



respondiente a suelos moderadamente alterados (Chang y Jackson, 1958) con unos porcentajes de P-Ca superiores al 20 por 100 en sus horizontes profundos y unas proporciones relativamente bajas de fósforo ocluido. Destaca además en estos suelos las diferencias de contenido de P-Al entre los diferentes horizontes, lo que puede ser debido a la formación de complejos entre la materia orgánica y el fósforo a través del aluminio (Williams y otros, 1958; Williams y Walker, 1969), por lo que diferencias en el contenido en materia orgánica se traducirían, en alguna medida, en diferencias de P-Al a través del perfil, pudiendo observarse que es en estos perfiles donde se presentan mayores diferencias en los contenidos de materia orgánica entre horizontes.



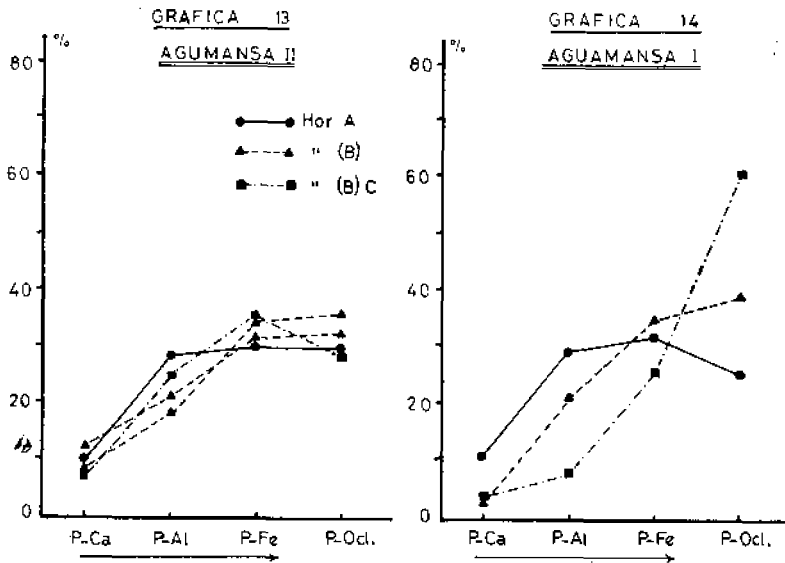
El perfil Portillo (y el horizonte A de Izaña) presenta, como ya hemos visto, un alto contenido en P-Al atribuible quizás a un mayor contenido en aluminio del material de origen fonolítico, material análogo al del horizonte A de Izaña.

El perfil Portillo (y el horizonte A de Izaña) con pH comprendidos entre 4,9 y 5,5 presentan además una baja proporción de P-ocluido, contrariamente a lo que sería de esperar a tales niveles de acidez, lo que nos puede sugerir, de acuerdo con Hsu y Jackson, 1960, que los procesos genéticos que causan la acidez del suelos proceden más rápido que los correspondientes a las transformaciones de fosfatos.

Habría que considerar también que, en algunos casos, se ha visto que la formación de P-ocluido está más influenciada por las condiciones climáticas que por el grado de evolución. Así, por ejemplo, se ha encontrado que un Aridisol ligeramente alterado, pero con un alto grado de sequedad, hay más fósforo ocluido que en un Oxisol fuertemente alterado (Westin y Brito, 1969). Por otro lado, en un Latosol desarrollado sobre cenizas volcánicas y con un alto grado de evolución, y en condiciones climáticas frías con una estación seca corta, sigue man-

teniendo unos niveles considerables de formas activas de aluminio y hierro que no han evolucionado a formas ocluidas Dahnke y otros (1964).

En nuestro caso, Izaña y Portillo, climáticamente diferentes al resto de los suelos estudiados, situados a unos 2.400 metros de altitud, bajo clima sub-alpino, en donde el suelo se mantiene frío y húmedo incluso en la estación seca, se dan unas condiciones que, según hemos visto, no favorecen la evolución de formas activas de fósforo a formas ocluidas.



Los perfiles Aguamansa II y Aguamansa I (gráficas 13, 14) presentan un comportamiento bastante análogo y de un mayor grado de evolución que los anteriores, pues a un menor contenido de P-Ca, presentan, sobre todo en los horizontes inferiores, un aumento del fósforo ocluido, con valores similares a la fracción P-Fe. No obstante, el horizonte (B)/C de Aguamansa I presenta la forma característica de una gran evolución de las formas de fósforo pese a pertenecer a un suelo poco profundo y a haberse desarrollado en unas condiciones ecológicas idénticas al perfil Aguamansa II. No obstante, dicho horizonte presenta un conjunto de propiedades que pueden justificar el mayor grado de transformación de las formas de fósforo:

Un drenaje rápido que favorece la pérdida de fosfatos de calcio y solubles.

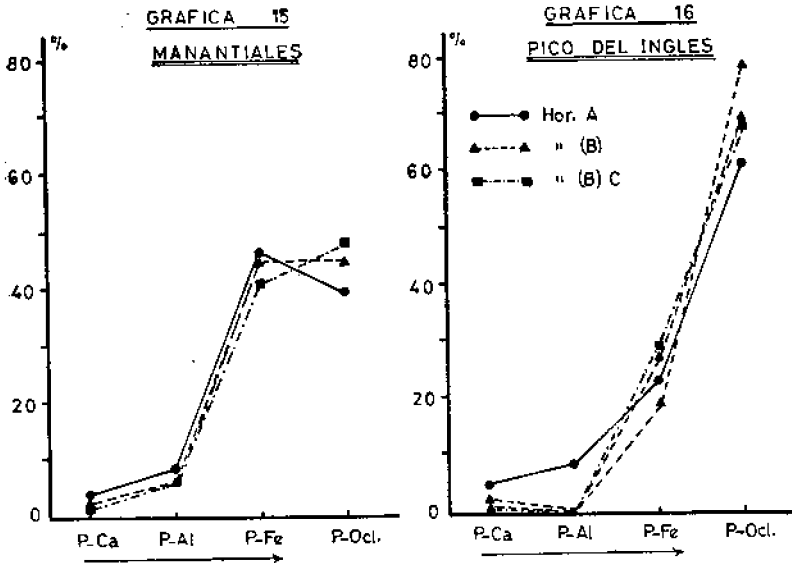
Un bajo contenido en materia orgánica (0,63 por 100 de C), que, en función de las consideraciones hechas anteriormente, explicaría el bajo contenido en fósforo unido al aluminio.

Una gran liberación de hierro, con presencia de hematites y concreciones férricas que dan lugar a una proporción grande de fósforo ocluido.

No debe deducirse, sin embargo, una mayor evolución edafológica para dicho horizonte, puesto que los niveles de P-Ca y P-Al, si bien son

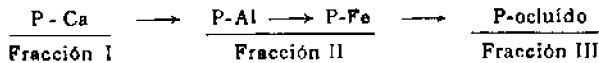
bajos, no son suficientes como para aceptar un grado de evolución muy avanzado.

Los Intergrados Andosol-Tierra parda oligotrófica presentan las proporciones típicas de suelos muy evolucionados, y en particular el perfil Pico del Inglés (gráfica 16), pues en Manantiales (gráfica 15) se conserva aún una gran proporción de P-Fe, ocupando este último perfil una posición intermedia entre Aguamansa I y II y el perfil Pico del Inglés en su grado de alteración.



Las características típicas de suelos muy evolucionados que presentan los Intergrados son: una desaparición prácticamente completa de las fracciones P-Ca y P-Al, estando la mayor parte del fósforo inorgánico extraíble por el método de Chang-Jackson en forma ocluida.

De lo comentado hasta aquí puede deducirse que en estos suelos se cumple la hipótesis de Chang y Jackson (1958) en el sentido de que las diferentes formas de fósforo siguen, con la evolución del suelo, la siguiente secuencia:

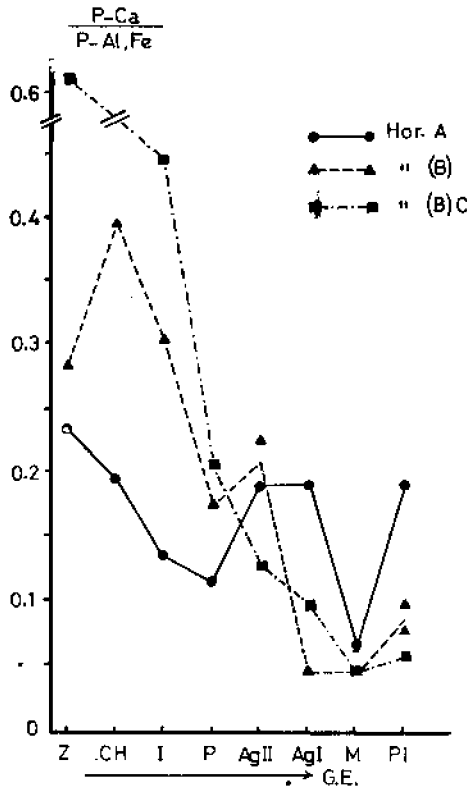


esto es, las formas minerales primarias (fracción I) tienden a evolucionar hacia formas secundarias ocluidas (fracción III) prácticamente inertes, con un estado intermedio (fracción II) de fosfatos de Fe y Al activos.

El primer paso de esta secuencia sería pues, la transformación de los fosfatos de calcio en fosfatos de hierro y aluminio no ocluidos, tendencia que se refleja en la gráfica 17. Así vemos que, según avanzamos en la secuencia de suelos, se observa una disminución muy acusada de la relación P-Ca/P-Al + Fe en los horizontes (B)/C y en los horizon-

tes (B). En los horizontes A la tendencia es clara en los Vitrandepts y Vitrandepts evolucionados. Esta relación nos indica, en alguna medida, la liberación del P-Ca del material original y de ahí que la tendencia sea mucho más clara y más acusada en los horizontes profundos.

GRAFICA 17



La evolución de las formas de fósforo inorgánicas dentro de la fracción II y el paso de la fracción II a la fracción III se pueden observar en las gráficas 18 y 19. Así, las relaciones P-Al/P-Fe y P-no ocluido/P-ocluido, que nos indicarían la evolución de las formas inorgánicas secundarias de fósforo, disminuyen con el grado de evolución de los suelos, aunque de una manera más acusada en el caso de la segunda relación, lo que pone de manifiesto una cierta capacidad de amortiguamiento de las fracciones P-Al y P-Fe en impedir la evolución de las formas de fósforo a formas ocluidas prácticamente irreversibles.

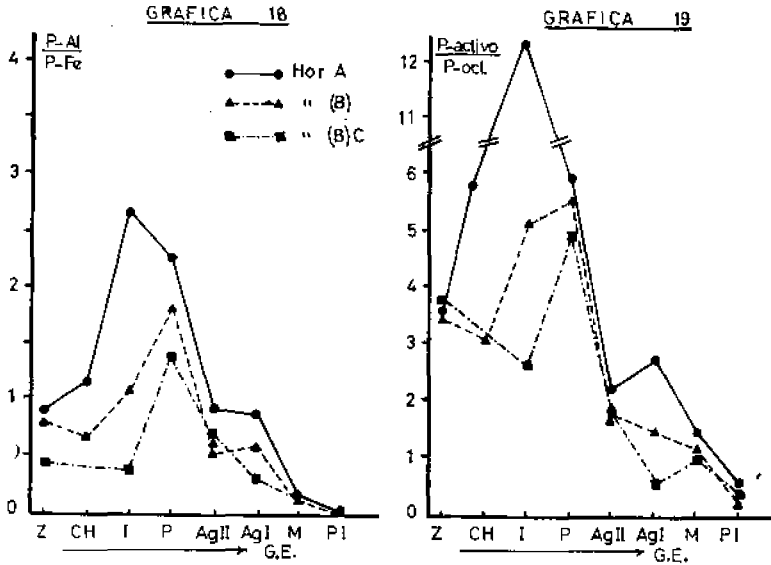
Los máximos que se presentan en ambas gráficas (18, 19) ya han sido comentados y discutidos anteriormente.

Hemos analizado hasta ahora las cuatro fracciones principales del fraccionamiento de los fosfatos inorgánicos. Como vimos en la introducción a este artículo, existen ciertas reservas a la hora de considerar

como perfectamente delimitadas las fracciones P-Al y P-Fe, por lo que muchos autores prefieren distinguir simplemente las fracciones:

- Fósforo de calcio (P-Ca).
- Fósforo no ocluido (P-Al + P-Fe).
- Fósforo ocluido,

ya que, a la vez que se simplifica el análisis de los datos, se elimina el problema de la diferenciación de los fosfatos de aluminio y hierro.



A este respecto, quisiéramos llamar la atención de las ventajas y posibilidades que podría aportar la utilización sistemática, en este tipo de estudios, del diagrama triangular para presentar las tres fracciones citadas. Así, podríamos distinguir en dicho diagrama dos tendencias diferentes a medida que va evolucionando un suelo.

Por una parte, la fracción P-Ca, que en la mayoría de los suelos es la fuente de fósforo, disminuye rápidamente con la alteración, esto es, se seguiría la tendencia señalada en la figura 20a.

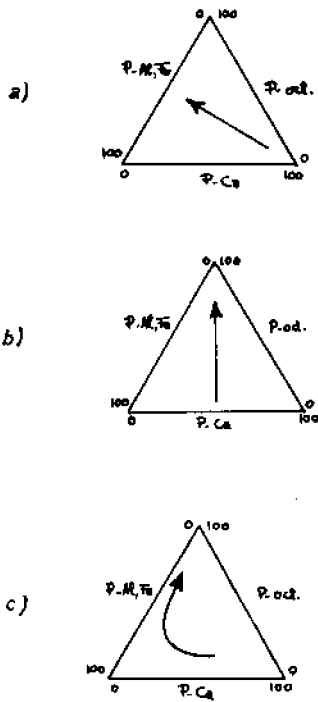
Por otra parte, cuando entran en juego las formas secundarias de fósforo, hay una tendencia a evolucionar las formas activas de aluminio y hierro a formas ocluidas, aumentando pues estas últimas con el grado de evolución (fig. 20b).

Por lo que la suma de las dos tendencias nos daría una resultante del tipo de la figura 20c.

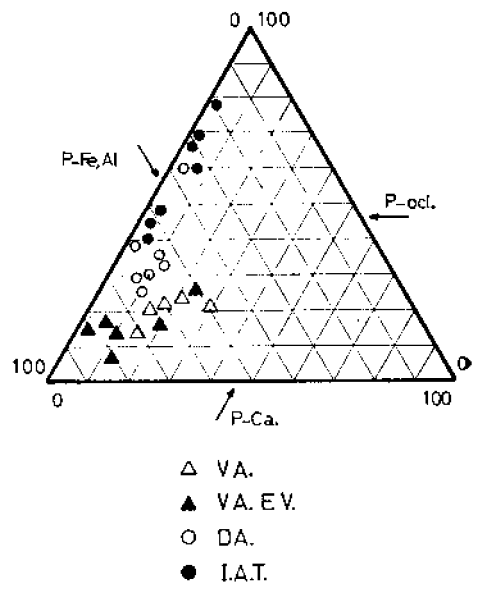
La representación de nuestros datos en este tipo de diagrama, evidencia su posible aplicación en este sentido (gráfica 21) y nos permite afirmar, con bastante probabilidad, que del estudio de un gran número de suelos utilizando este diagrama triangular para representar las tres fracciones de fosfatos inorgánicos comentadas, podrían delimitarse zonas

que nos diesen información, si bien de una manera no muy precisa, sobre el grado de evolución de un suelo dado (Walker, 1976).

GRAFICA 20



GRAFICA 21



RESUMEN

El estudio de las diversas fracciones de fosfatos inorgánicos, extraídos por el método Chang-Jackson (P-Ca, P-Al, P-Fe, P-ocluido), con relación al grado de alteración de los suelos (andosoles) presentan las siguientes tendencias:

1. Las fracciones P-Ca y P-Al disminuyen al aumentar la alteración, presentando los fosfatos de aluminio un máximo correspondiente a los Vitrandepts evolucionados.
2. La fracción P-Fe no presenta grandes variaciones, excepto en el perfil Manantiales con un porcentaje superior al resto de los suelos.
3. El P-ocluido muestra una tendencia a aumentar con el grado de alteración de los suelos.

Se cumple la hipótesis de Chang-Jackson en el sentido de que las diferentes formas inorgánicas de fósforo siguen con la evolución de los suelos, la secuencia: P-Ca, P-Al, P-Fe, P-ocluido

BIBLIOGRAFÍA

- AL-ABBAS, A. H. y BARBER, J. A. (1964). Soil test for phosphorus based upon fractionation of soil phosphorus. Correlation of soil phosphorus fractions with plant available phosphorus. *Soil Sci. Am. Proc.*, 28, 218-221.
- BAUWIN, G. R. y TYNER, E. H. (1957). The nature of reductant-soluble phosphorus in soils and soil concretions. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 21, 250-257.
- CABEZAS VIANO, O. (1975). Estudio mineralógico de Andosoles de las Islas Canarias. Tesis doctoral, Universidad de La Laguna.
- CHANG, S. C. y JACKSON, M. L. (1958). Soil phosphorus fractions in some representative soils. *J. Soil Sci.*, 9 (1), 109-119.
- CHANG, S. C. y JUO, S. R. (1963). Available phosphorus in relation to forms of phosphate in soils. *Soil Sci.*, 95, 91-96.
- CHIRIKOV, F. V. (1939). A method of estimating the forms of phosphate in soils. *Khimizataiya* núm. 10-11.
- DAHKE, W. C., MALCOLM, J. L. y MENÉNDEZ, M. E. (1964). Phosphorus fractions in selected soils profiles of El Salvador in relation to their development. *Soil Sci.*, 94, 33-38.
- DEAN, L. A. (1938). An attempted fractionation of soil phosphorus. *J. Agric. Sci.*, 28, 234-246.
- FERNÁNDEZ CALDAS, E. y TEJEDOR SALGUERO, M. J. (1975). Andosoles de las Islas Canarias. Caja General de Ahorros, Santa Cruz de Tenerife.
- GAUCHER, G. (1973). Ed. Omega. El suelo y sus características agronómicas.
- GHANI, M. O. y ALEEN, S. A. (1943). Fractionation of soil phosphorus. *J. Agric. Sci.*, 13, 142-147.
- GODFREY, C. L. and RIECKEN, F. F. (1954). Distribution of phosphorus in some genetically related leess-derived soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 18, 80-84.
- HSU, P. H. y JACKSON, M. L. (1960). Inorganic phosphate transformations by chemical weathering in soils as influenced by pH. *Soil Sc.*, 90, 16-24.
- PÉREZ MÉNDEZ, J. A. (1978). Fraccionamiento de los fosfatos inorgánicos en Andosoles de las Islas Canarias. *An. Edaf.* (En prensa.)
- WALKER, T. W. y ADAMS, A. F. R. (1958). Studies on soil organic matter. I. Influence of phosphorus content of parent materials on accumulations of carbon, nitrogen, sulphur and organic phosphorus in grassland soils. *Soil Sci.*, 85.
- WALKER, T. W. (1964). In *Experimental Pedology*. E. G. Hallsworth and D. V. Grawford. Ed. London.
- WALKER, T. W. y SYERS, J. K. (1976). The fate of phosphorus during pedogenesis. *Geoderma*, 16, 1-19.
- WESTIN, C. F. y DE BRITO, J. G. (1969). Phosphorus fractions of some Venezuelan soils as related to their stage of weathering. *Soil Sci.*, 107, 194-202.
- WILLIAMS, J. D. H. y WALKER, T. W. (1969). Fractionation of phosphate in a maturity sequence of New Zealand basaltic soils profiles. II. *Soil Sci.*, 107, 213-219.
- WILLIAMS, C. H. (1950). Studies on soil phosphorus. I. *J. Agric. Sci.*, 40, 233-242.

Recibido para publicación: 11-IV-78