

Efectos de algas marinas sobre la disponibilidad de fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas¹

Hugo Zunino², Pedro Peirano², María Aguilera² y Mario Caiozzi².

INTRODUCCION

Una de las propiedades físico-químicas más notables de los suelos chilenos derivados de cenizas volcánicas, es su extraordinaria habilidad para adsorber aniones, especialmente fosfato (Alamos *et al.*, 1967; Appelt, 1974; Zunino *et al.*, 1970) (Gutnik *et al.*, 1967). Esto determina que el nivel de fósforo disponible para las plantas que crecen en estos suelos, sea un factor limitante fundamental de la producción agrícola de ellos. Toda investigación tendiente a estudiar este proceso es entonces de primordial importancia y estará conectada, directa o indirectamente, al aspecto productivo de las zonas agrícolas correspondiente.

Algunos trabajos realizados en este Departamento han demostrado que algas marinas del género *Macrocystis intergrifolia* Bory (huido común) cuando se incorporan, en baja proporción, a suelos agrícolas aumentan significativamente el nivel de fósforo disponible (Caiozzi *et al.*, 1968; Marchant, 1966; Rauch, 1965). Asimismo, en un suelo derivado de cenizas volcánicas se describió recientemente un proceso de interacción fertilizante fosfato-alga-suelo que influiría los procesos de fijación de fósforo en el suelo y, consecuentemente,

la disponibilidad de fósforo para las plantas (Zunino *et al.*, 1971).

Ha parecido de interés a los autores profundizar y extender el estudio de la interacción anteriormente señalada. Este estudio se realizó en tres suelos andepts típicos de la zona sur de Chile, a los cuales se adicionó alga y fosfato monocálcico en dosis variable. Para medir la interacción se usó trigo como planta indicadora, el cual es de cultivo intensivo en esta zona y, además, responde bien a los niveles de P disponible (Zunino *et al.*, 1973).

Con el análisis de los resultados obtenidos se espera colaborar fundamentalmente al estudio y descripción de los procesos de fijación de P en estos suelos. Simultáneamente se espera que este trabajo pueda ayudar al conocimiento y evaluación de futuras fuentes de P y técnicas de fertilización a emplear en los suelos derivados de cenizas volcánicas y de alta capacidad de fijación de aniones.

MATERIALES Y METODOS

Los suelos usados en este trabajo son derivados de cenizas volcánicas y pertenecen a la serie Temuco, Osorno y Puerto Octay. Las muestras de suelos se obtuvieron del horizonte superficial desde cortes de caminos¹. Algunas de sus más importantes características han sido descritas anteriormente (Appelt y Schalscha, 1970; Thumann, 1970; Zunino *et al.*, 1970).

¹Contribución del Departamento de Química Inorgánica y Analítica de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Chile. Esta investigación fue financiada parcialmente con fondos proporcionados por CONICYT.

Recepción originales: 5 de diciembre de 1974.

²Profesores Investigadores, Depto. Química Inorgánica y Analítica, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Chile, Casilla 233, Santiago, Chile.

¹Los autores agradecen en forma especial la colaboración prestada por Luis Arrieta C. para localizar e identificar los suelos.

El alga utilizada, *Macrocystis intergrifolia* Bory, es similar a la usada en trabajos anteriores; para su uso fue secada al aire, molida y tamizada por un tamiz de 30 mesh. (Caiozzi *et al.*, 1968; Zunino *et al.*, 1971).

Preparación de las mezclas. 1.200 g de cada suelo se mezclaron con cantidades apropiadas de Ca (H_2PO_4)₂ · H₂O (principal componente del superfosfato) para obtener concentraciones de 0-100-300-600 Kg de P₂O₅/ha equivalente, en estos suelos, a 0-22-66-132 ppm de P aproximadamente. En experimentos previos se había determinado que ese rango de concentraciones de P era el más apropiado para obtener rendimiento de cosecha y absorción de P por el trigo en una función lineal. Se agregó 2,4 g de alga seca a un grupo de mezclas. A todas las muestras se agregó 1,440 g de KNO₃, cantidad que es suficiente en estos suelos para entregar N al trigo en forma adecuada y regular¹. Las mezclas íntimamente mezcladas se colocaron en recipientes plásticos de 2 litros de capacidad.

La siguiente clave se empleará para identificar las mezclas:

S = suelo sin fosfato ni alga (controles)

SP = suelo con fosfato (P)

SA = suelo con alga (A)

SPA = suelo con fosfato y alga

Todas las mezclas se incubaron en una jaula de cultivo, provista de techo plástico transparente y en condiciones climáticas naturales, durante la primavera de 1970 y verano de 1971, por períodos de 0-30-60-120 y 180 días. La humedad de las mezclas se mantuvo constante restituyendo el H₂O evaporada diariamente. El contenido de H₂O de las muestras se ajustó a 1/2 de la capacidad de campo del suelo respectivo².

Terminado el período de incubación se sembraron 10 semillas seleccionadas de trigo, 2 cm debajo de la superficie de las muestras. Doce días más tarde las plantas se redujeron a 6 y se cosechó después de 45 días de crecimiento, la parte aérea. Las plantas cosechadas se lavaron inmediatamente con una solución 0,2% de detergente no-iónico y enseguida se secaron durante 48 horas a 56°C y se determinó en rendimiento en g/pote. Luego las

plantas secas y molidas se colocaron en un crisol de cuarzo y se calcinaron a 550°C en una mufla provista de camisa de cuarzo; en las cenizas se determinó fósforo total (Lachica *et al.*, 1965).

La determinación analítica de fosfato se hizo usando el método del azul de molibdeno adaptado a tejidos vegetales (González y Báez, 1972). Todos los experimentos se realizaron en triplicado con poca variación entre las tres muestras. Los datos tabulados en este trabajo representan los valores promedios de los resultados obtenidos.

RESULTADOS Y DISCUSION

Como puede verse en los Cuadros 1 y 2 el rendimiento de cosecha (g de materia seca/pote) y la absorción de P por el trigo están claramente relacionados a la cantidad de P agregado. Esta relación directa ocurre en todos los suelos y en todos los períodos de incubación considerados. Es interesante hacer notar que en todos los casos de las mezclas que contienen alga se produjo rendimiento y absorción de P mayor que en las mezclas sin alga, excepto para el suelo Puerto Octay a tiempo cero.

En trabajos anteriores (Caiozzi *et al.*, 1968) (Zunino *et al.*, 1971) se ha discutido que el incremento de fosfato disponible producido por el alga, cuando se agrega junto con un fertilizante (fosfatado al suelo, puede explicarse por tres mecanismos diferentes:

a) aporte al suelo del P que el alga contiene en su estructura.

b) solubilización de fosfatos insolubles del suelo por acción complejante de algunos productos de degradación microbiana del alga.

c) interacciones entre el fósforo-alga-suelo ("PAS") que podrían inhibir parcialmente los mecanismos de fijación de P en el suelo.

Para estimar la influencia del mecanismo c sobre la disponibilidad de P en un sistema dado se ha propuesto el concepto ΔP (Zunino *et al.*, 1971). Valores positivos de ΔP representarían el aumento en P disponible proveniente del fertilizante y como consecuencia de la interacción PAS ocurrida en ese sistema. Por su parte ΔP negativos representarían la disminución de P disponible en las mismas circunstancias anteriores. ΔP se definió como:

$$\Delta P = (SPA - SP) - (SA - S)$$

(Zunino *et al.*, 1971).

¹Comunicación personal Dr. E. Polle, Estación Experimental La Platina, Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).

²Los autores agradecen el interés y dedicación de Luis Pino y Juan Miranda en el manejo de la jaula de cultivo de la Facultad de Ciencias Químicas, Univ. de Chile, Santiago.

Cuadro 1 — Rendimiento de trigo en suelos incubados por diferentes períodos con dosis crecientes de $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ en presencia y ausencia de alga.

Suelo	P agregado ($\text{KgP}_2\text{O}_5/\text{ha}$)	Rendimiento (g materia seca/pote)									
		Días de incubación									
		0		30		60		120		180	
		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Osorno	0	0,47	0,75	0,32	0,45	0,57	0,61	0,62	0,76	0,70	0,77
	100	0,85	1,08	0,51	0,52	0,64	0,79	0,60	0,84	0,76	0,94
	300	1,29	1,66	0,79	1,10	0,96	1,26	1,06	1,24	0,96	1,26
	600	2,47	3,40	1,41	1,72	1,70	1,66	1,65	2,28	1,84	1,92
Temuco	0	0,58	0,81	0,44	0,58	0,49	0,57	0,67	0,83	0,56	0,73
	100	0,76	1,12	0,54	0,75	0,55	0,69	0,68	1,00	0,87	0,94
	300	1,37	1,68	1,12	1,15	0,92	1,16	0,97	1,25	0,99	1,46
	600	2,25	2,80	1,31	1,90	1,26	1,59	1,37	1,86	1,54	1,85
Puerto Octay	0	0,77	0,76	0,43	0,50	0,58	0,62	0,59	0,72	0,65	0,68
	100	1,14	1,04	0,67	0,72	0,65	0,78	0,79	0,78	0,65	0,74
	300	1,49	1,23	1,21	1,27	0,83	1,11	0,80	1,01	0,88	1,16
	600	2,58	2,33	1,83	2,16	1,04	1,61	1,12	2,23	1,66	1,41

A = Sin alga.
B = Con alga.

Cuadro 2 — P absorbido por el trigo en suelos incubados por diferentes períodos con dosis crecientes de $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, en presencia y ausencia de alga.

Suelo	P agregado ($\text{KgP}_2\text{O}_5/\text{ha}$)	Absorción de P ($\mu\text{gP}/\text{pote}$)									
		Días de incubación									
		0		30		60		120		180	
		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Osorno	0	339	590	316	503	523	572	469	572	498	542
	100	1027	1377	994	943	886	1045	550	966	805	991
	300	2104	2259	2002	2463	2270	3017	1327	1908	1315	1708
	600	4885	6218	3228	3764	4235	3989	2653	3812	2965	3039
Temuco	0	480	711	432	652	506	522	471	634	372	444
	100	1066	1744	780	1227	664	845	561	861	732	685
	300	2913	3241	1952	2148	1546	1584	936	1237	890	1713
	600	5346	6009	3188	4782	2136	2730	1871	2345	1836	2162
Puerto Octay	0	541	630	372	562	476	535	425	574	387	432
	100	1276	1184	1089	1393	814	903	713	616	529	621
	300	1721	1694	3282	3268	1329	1925	819	920	943	1337
	600	5323	4502	5172	5843	2369	3276	1382	2328	2300	1736

A = Sin alga.
B = Con alga.

Usando este mismo criterio en este trabajo se calculó ΔP y ΔY donde Y representa rendimiento de cosecha y P, fósforo absorbido por el trigo. Así los valores presentados en

los Cuadros 3 y 4 corresponderían al decrecimiento (Δ negativo) o incremento (Δ positivo), tanto en rendimiento de cosecha (ΔY) o absorción de P (ΔP), que se deben a in-

Cuadro 3 — Efecto de la interacción PAS sobre la absorción de P por el trigo.

Suelo	P agregado (KgP ₂ O ₅ /ha)	* ΔP (μg de P/pote)				
		Días de incubación				
		0	30	60	120	180
Osorno	100	99	-241	110	313	142
	300	-96	271	698	478	349
	600	1082	346	-295	1056	30
Temuco	100	447	227	165	137	-119
	300	97	-24	22	138	751
	600	432	1374	578	311	254
Puerto Octay	100	-181	114	30	-246	47
	300	-116	-204	537	-48	349
	600	-910	481	848	798	-609

$$*\Delta P = (SPA - SP) - (SA - S).$$

Cuadro 4 — Efecto de la interacción PAS sobre rendimiento de trigo.

Suelo	P agregado (KgP ₂ O ₅ /ha)	* ΔY (materia seca/pote)				
		Días de incubación				
		0	30	60	120	180
Osorno	100	-0,05	-0,12	-0,11	0,10	0,11
	300	0,09	0,18	0,26	0,04	0,23
	600	0,65	0,18	-0,08	0,49	0,01
Temuco	100	0,13	0,07	0,06	0,16	0,10
	300	0,08	-0,11	0,16	0,12	0,30
	600	0,32	0,45	0,25	0,33	0,14
Puerto Octay	100	-0,09	-0,02	0,09	-0,14	0,06
	300	-0,25	-0,01	0,24	0,08	0,25
	600	-0,24	0,26	0,53	0,98	-0,28

$$*\Delta Y = (SPA - SP) - (SA - S).$$

teracciones PAS. Cuando los valores de ΔY son iguales o cercanos a cero, entonces puede decirse que el aumento en cosecha o absorción de P producido por el alga en las mezclas SPA se deben a los mecanismos de *a* y *b*.

En los Cuadros 3 y 4 se presentan los datos de ΔP y ΔY obtenidos después de incubar las mezclas con alga. ΔP y ΔY positivos se obtuvieron en casi todos los tiempos de incubación en los suelos Osorno y Temuco. Esto significa que el alga está interactuando con el Ca (H₂PO₄)₂ × 2H₂O aumentando su disponibilidad para el trigo o, lo que es lo mismo, disminuyendo su fijación en estos suelos. Las

variaciones de los valores absolutos de ΔP y ΔY , a través del tiempo, pueden originarse en la actividad biológica cíclica de la flora microbiana del suelo, estimulada por la presencia de la materia orgánica del alga y que afecta los niveles de P disponible en el suelo (Caiozzi *et al.*, 1968; Flaig, 1970; Martín y Haider, 1970; Zunino *et al.*, 1971).

En el suelo Puerto Octay ocurren frecuentemente valores negativos de ΔP y ΔY , especialmente a tiempo cero incubación. Esto indica que el alga incrementa, en esos casos, la fijación del fosfato agregado lo que probablemente está relacionado a un incremento

de la población microbiana, la cual incorpora una mayor cantidad de P a su biomasa. Similares resultados se habían obtenido anteriormente con dosis elevadas de alga (Zunino *et al.*, 1971). Para confirmar la relación existente entre los ciclos microbianos vegetativos y ΔP o ΔY sería necesario conseguir información más directa a través de otros experimentos diseñados especialmente para ese propósito.

En las Figuras 1 y 2 están representadas las sumas algebraicas de todos los valores de ΔP (Figura 1) y ΔY (Figura 2) conseguidos a través de los 180 días para cada dosis de P. Estas sumatorias representarían el efecto integrado de la interacción AP (representados individualmente por Δ en cada período de incubación) a través de los 180 días. Naturalmente que estas sumatorias ($\Sigma\Delta P$ y $\Sigma\Delta Y$) solamente ilustran una evaluación aproximada y podrían usarse solamente para describir tendencias del sistema. En otras palabras podríamos visualizar a través de ellas el comportamiento cualitativo de los sistemas en estudio en cuanto a las interacciones PAS.

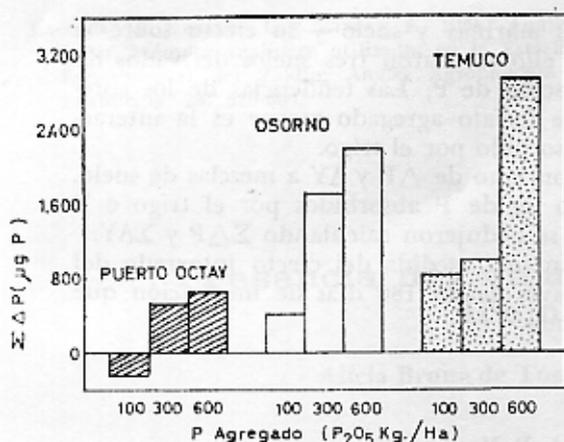


Figura 1 — Efecto integrado, a través de 180 días, de la interacción PAS sobre la absorción de fósforo por el trigo.

La interacción positiva PAS en un suelo dado significa que el alga agregada junto con el fosfato está inhibiendo parcialmente los mecanismos de fijación de él en el suelo. Esto significa que a dosis constante de alga, la cantidad de P que no se fija como consecuencia de la presencia de alga debe aumentar a medida que el nivel de fosfato agregado ini-

cialmente al suelo se incrementa; esta tendencia entonces debe reflejarse en valores mayores de $\Sigma\Delta$ para las dosis altas de P.

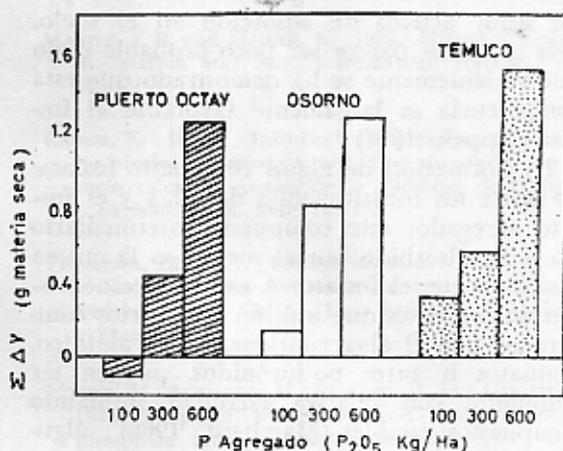


Figura 2 — Efecto integrado, a través de 180 días, de la interacción PAS sobre el crecimiento del trigo.

En las Figuras 1 y 2 puede observarse que existe una clara interrelación entre el nivel de P agregado y la sumatoria de ΔY y ΔP a través de los 180 días. A mayor P agregado se obtienen mayores valores de $\Sigma\Delta P$ y $\Sigma\Delta Y$. El desarrollo de ambas figuras es similar, con la excepción del suelo Puerto Octay con 600 Kg de P_2O_5 /ha. Estos datos estarían confirmando claramente que la interacción PAS está ocurriendo en estos suelos.

Es interesante destacar el comportamiento del suelo Puerto Octay, el que presenta muchos valores de ΔP y ΔY negativos (Cuadros 3 y 4) indicando estímulo de la fijación de P que se debería a los procesos cíclicos microbianos anteriormente discutidos. Este comportamiento se refleja en las Figuras 1 y 2 en las cuales este suelo presenta los valores más bajos de $\Sigma\Delta P$ y $\Sigma\Delta Y$ en todas las dosis. Esto significaría que las interacciones PAS que ocurren en este suelo son más débiles que en los suelos Osorno y Temuco, o bien, que la inmovilidad biológica transitoria de P es cuantitativamente más significativa en el suelo Puerto Octay.

Dos hipótesis podrían plantearse para explicar la naturaleza de las interacciones PAS descritas en este trabajo y que a continuación se señalan.

1) Competencia de aniones orgánicos, pro-

ducidos en el medio a partir de la degradación microbiana del alga, con el fosfato por los sitios activos de adsorción en el suelo. Esta hipótesis parece ser poco probable dado que recientemente se ha demostrado que esta competencia es largamente favorable al fosfato (Appelt, 1974).

II) Formación de algún compuesto fosfatado entre los constituyentes del alga y el fosfato agregado; este compuesto intermediario no sería adsorbido por el suelo con la misma facilidad que el fosfato. A este respecto existen antecedentes que indican que ciertos compuestos que el alga contiene, ácido alginico, alginatos u otros poliuronidos, pueden ser fosfatados con relativa facilidad formando compuestos estables (Marchant, 1966); algunos trabajos en desarrollo en este Departamento están orientados a dilucidar con más

propiedad los mecanismos involucrados en la interacción PAS discutida.

La economía del fósforo en los suelos chilenos derivados de cenizas volcánicas es un factor que se reconoce unánimemente como el más importante que afecta la productividad agrícola de ellos. Para encarar científicamente su estudio sería necesario desarrollar investigaciones básicas en lo referente a los mecanismos íntimos de naturaleza biológica y físico-química que regulan la adsorción de fosfato en estos suelos alofánicos. Al mismo tiempo es necesario buscar y ensayar nuevas fuentes de abonos fosfatados y productos accesorios que favorezcan su mejor aprovechamiento por las plantas estimándose que el presente trabajo podría contribuir en alguna medida a estimular futuras investigaciones en ambos campos.

RESUMEN

Se estudia la interacción entre fosfato, algas marinas y suelo y su efecto sobre la disponibilidad de fósforo para el trigo. Para ello se usaron tres suelos derivados de cenizas volcánicas y de alta capacidad de fijación de P. Las tendencias de los sistemas estudiados es que a mayor cantidad de fosfato agregado mayor es la interacción producida y mayor la cantidad de P absorbido por el trigo.

Las interacciones se midieron aplicando concepto de ΔP y ΔY a mezclas de suelo, alga y fosfato monocalcico. P se define como ug de P absorbidos por el trigo e Y como rendimiento. Las tendencias señaladas se dedujeron calculando $\Sigma\Delta P$ y $\Sigma\Delta Y$.

Se postula que $\Sigma\Delta P$ y $\Sigma\Delta Y$ representarían una medida del efecto integrado del alga sobre la disponibilidad de fósforo, a través de los 180 días de incubación que fue el período máximo de incubación estudiado.

SUMMARY

EFFECT OF SEAWEED ON PHOSPHORUS AVAILABILITY IN VOLCANIC-ASH DERIVED SOILS

Three volcanic ash-derived soils, known to have a high P-fixing capacity were used to study the interaction between added phosphate and seaweed with the soil and its effect on phosphorus availability to wheat plants. The tendency observed was that the higher the amount of phosphate added the stronger the interaction which increases the quantity of P absorbed by wheat.

The interactions were measured by applying the concept of ΔP and ΔY to mixtures composed by soil, seaweed and monocalcium phosphate. P is defined as the quantity of phosphorus absorbed by wheat and Y as the increment in the yield, both under the influence of the interaction phosphorus-seaweed-soil.

The tendencies above described were deducted by calculating $\Sigma\Delta P$ and $\Sigma\Delta Y$ values which would represent a measurement of the overall effect of seaweed on phosphorus availability throughout a 180 days period.

LITERATURA CITADA

- ALAMOS, P., BEHRENS, H., ACEVEDO, E., LÓPEZ, A., y PALMA, T. 1967. Relaciones suelo-fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas. *Agricultura Técnica* (Chile). 27 (3): 120-129.
- APPELT, H. 1974. Interactions between organic compounds, minerals and ions in volcanic ash derived soil. Ph. D. Dissertation. University of California Riverside. U.S.A.
- and SCHALSCHA, E. B. 1970. Effect of added phosphate on the inorganic phosphorus fractions of soils derived from volcanic ash. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34: 509-602.
- CAIOZZI, M., PEIRANO, P., RAUCH, E. and ZUNINO, H. 1968. Effect of seaweed on the levels of available phosphorus and nitrogen in a calcareous soil. *Agronomy Journal*, 60: 324-326.
- FLAIG, W. 1970. Organic compounds in soil. *Soil Sci.* 111: 19-33.
- GONZÁLEZ, C. y BÁEZ, M. 1972. Método de determinación de fósforo en tejidos vegetales. *Agrochimica*. 16: 342-344.
- GUTNIK, V., BALCAR, J., BEHRENS, H. y ACEVEDO, E. 1967. Influencia del pH sobre la fijación de fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas. *Agricultura Técnica* (Chile). 27 (4): 141-143.
- LACHICA, M., RECALDE, L. y ESTEBAN, E. 1965. Análisis foliar. Métodos analíticos utilizados en la Estación Experimental del Zaidin. *Anales Agrobiología y Edafología*. 24: 589-603.
- MARCHANT, P. 1966. Estudio de los niveles de fósforo en un sistema constituido por suelo calcáreo y alga enriquecida en fósforo. *Anales Facultad de Química y Farmacia*, Vol. XVIII: 153-158.
- MARTIN, J. P. and HAIDER, K. 1970. Microbial activity in relation soil humus formation. *Soil Sci.* 111: 54-63.
- RAUCH, E. 1965. Influencia de algas marinas sobre los niveles de fósforo y nitrógeno disponible en un suelo calcáreo. *Anales de la Facultad de Química y Farmacia*. Vol. XVII: 188-195.
- THUMANN, C. 1970. Fósforo orgánico y fracciones de fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas. Universidad de Chile. (Tesis Facultad de Química y Farmacia).
- ZUNINO, H., AGUILERA, M., PEIRANO, P. and CAIOZZI, M. 1973. P-uptake by wheat and resin-extractable phosphate after incubation in soil derived from volcanic ash. *Agronomy Journal*. 65: 747-748.
- , CAIOZZI, M., PEIRANO, P. and AGUILERA, M. 1970. Phosphate fixation in acidic soil derived from volcanic ash in Chile as influenced by the naturally occurring exchangeable cations. *Agrochimica*. 14: 557-564.
- , PEIRANO, P., AGUILERA, M., GONZÁLEZ, R. and CAIOZZI, M. 1971. Effect of seaweed on phosphorus availability of a soil derived from volcanic ash. *Agronomy Journal*. 63: 116-119.