

Bioquímica de suelos derivados de cenizas volcánicas. I. Ecología microbiana y su relación con las propiedades físico—químicas de ellos¹

Hugo Zunino²
Fernando Borie²
María Aguilera²
Pedro Peirano²
Mario Caiozzi²
James P. Martin³

INTRODUCCION

Los procesos bioquímicos que tienen lugar en los suelos han sido reconocidos desde tempranas épocas como pilares fundamentales que soportan las propiedades físicas y físico—químicas de ellos. Sin embargo, su estudio sistemático y profundo solamente se ha iniciado hace algunas décadas debido, principalmente, a la exigencia de metodologías experimentales avanzadas (McLaren y Skujins, 1971). En lo que respecta a suelos chilenos, se han desarrollado varios proyectos de investigación que han confirmado la importancia de este tipo de estudios y la necesidad de profundizarlos, especialmente en el ámbito de los suelos derivados de cenizas volcánicas (Schaeffer, Urbina y San Martín, 1969; Schaeffer y otros, 1971). Estos suelos ocupan extensas zonas de gran importancia agrícola y forestal, especialmente en la Zona Sur del país. El alto contenido de materia orgánica, la activa flora microbiana y la composición alofánica de ellos, constituyen materiales de estudio de enorme interés en el campo de la bioquímica de suelos (Zunino y otros, Martín y otros, 1981, en prensa). La mutua interacción de todos estos factores influye sobre la alta capacidad de retención de fósforo de estos suelos, la

cual encarece significativamente la producción agrícola. Es indudable, entonces, que toda investigación científica a nivel básico de esos factores, facilitará la comprensión de estos fenómenos y aportará elementos para la solución de este problema.

Es un hecho comprobado que la población microbiana es un factor importante que define las características de un suelo, especialmente en los referentes a su fertilidad. Al mismo tiempo, es indudable que el entorno ecológico primario en que se desarrolla esta microflora, principalmente la fracción inorgánica arcillosa del suelo, influenciará de manera notable los procesos bioquímicos que esta flora impulsa *in situ*. Esto es especialmente relevante en los suelos derivados de cenizas volcánicas, cuyo constituyente fundamental de su fracción arcillosa es el alofán, término genérico que se usa para designar a aluminio—silicatos amorfos de razón Fe_2O_3/Al_2O_3 variable y cuyas cargas de los recubrimientos superficiales son dependientes del pH (Galindo, 1974; Escudey, 1978). La actividad físico—química superficial de estos alofanos es alta, adsorbiendo con mucha tenacidad especies aniónicas, por ejemplo fosfatos, y algunos sustratos orgánicos, por ejemplo enzimas y sustancias húmicas, etc., que existen en el medio. Puede predecirse entonces que, dada la presencia de este sistema microflora activa—alofán activo, la interacción de sus componentes bióticos y abióticos determinará en gran medida la productividad de estos suelos.

El primer trabajo de esta serie de artículos, es un estudio de la distribución de los tres grandes grupos de microbios, bacterias, hongos y actinomicetes en sue-

¹ Recepción de originales : 15 de julio de 1981.

Investigación financiada por el Servicio de Desarrollo Científico, Artístico y Cooperación Internacional. U. de Chile.

² Investigadores, Depto. Análisis Químico, Fac. de Ciencias Básicas y Farmacéuticas. U. de Chile, Santiago, Chile.

³ Investigador. Department of Soil and Environmental Sciences. U. of California, Riverside, USA.

los derivados de cenizas volcánicas. Paralelamente se determinan algunas propiedades físico-químicas relevantes de los suelos: porcentaje de agregación, contenido de materia orgánica, pH, retención de agua y capacidad de retención de fósforo. De esta manera se pretende establecer una relación primaria entre estos dos grandes factores que dominan el habitat.

MATERIALES Y METODOS

Los suelos usados en este trabajo son en su mayoría derivados de cenizas volcánicas, están ubicados en la zona comprendida entre Los Angeles y Puerto Montt y sus características han sido descritas en varias publicaciones anteriores. Las muestras de suelo fueron recolectadas en Octubre de 1976 y en abril de 1977, para poder realizar un análisis de la variación estacional que presentan dichos suelos, en lo que se refiere a su población microbiana.

La estimación de la flora microbiana se realizó a partir de extractos acuosos de suelo, mediante el método de dilución en placa. Se usaron medios de cultivo selectivos para las distintas especies. Para hongos se usó el medio de Martin: agar—rosa bengal—estreptomina (Martin, 1950). Para bacterias se usó un medio corriente de agar—glucosa—peptona y para actinomicetes se utilizó un medio de agar—glicerol—caseína (Kuster y Williams, 1964).

La materia orgánica de los suelos se determinó por el método de Walkley—Black (Jackson, 1967). El pH de los suelos se determinó en pasta a saturación y en KCl 1 N, con un electrodo de vidrio.

El fósforo disponible fue determinado por el método de Brat y Kurtz.

La absorción máxima de P fue calculada estadísticamente por la Isoterma de Langmuir, según método de Olsen y Watanabe (1957).

El porcentaje de agregación se determinó aplicando el método de la pipeta a suelo tamizado (muestra no dispersada) y al mismo suelo tamizado previamente dispersado (muestra dispersada). El cálculo empleado fue:

$$\% \text{ agregación} = \frac{\{\text{agregación de limo y arcilla}\} \times 100}{\text{total limo y arcillas}^*}$$

*Obtenido de la muestra dispersada.

La capacidad de retención de agua se determinó de la siguiente manera: se pesa un filtro—crisol de Gooch

con suelo tamizado (2 mm) y seco a 110° C por 24 hr. Luego se humecta el suelo por capilaridad hasta que la superficie de éste se vea homogénea, se deja reposar el filtro—crisol sobre papel filtro por 15 minutos (para eliminar el exceso de humedad) y se pesa. La diferencia de peso se considera equivalente a la capacidad de retención de agua de la muestra.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados de los cuadros 1 y 2 indican que la población microbiana de los suelos derivados de cenizas volcánicas presenta, en general, una alta proporción de actinomicetes, por consiguiente la razón (N° de bacteria/N° de hongos + N° de actinomicetes) es del orden de 1. Esta razón varía desde un mínimo de 0,5, para el suelo Padre Las Casas, hasta un máximo de 2,4, para el suelo Arrayán. Se exceptúa el suelo Frutillar, que presentó una razón de 5,9; esto indica que en este suelo alofánico existe una clara predominancia de bacterias, por lo menos en el período de muestreo, características de suelos no—volcánicos, con pH neutro (representados en el Cuadro 1 por el suelo de la serie Liray).

El número de hongos por gramo de suelo está dentro de los límites habituales, con excepción del suelo Puerto Octay que presenta un valor anormalmente alto; esto puede atribuirse a alguna situación muy particular ocurrida en el sitio y época de muestreo (Octubre de 1976, época de primavera y especialmente húmeda en esa temporada), puesto que la muestra de abril de 1977 dió un valor muy diferente para ese mismo suelo.

La población fúngica es muy diversificada en cuanto a especies, muchas de las cuales no se lograron clasificar en una primera aproximación, ya que se requería de técnicas taxonómicas más elaboradas y que no constituía el objetivo de este trabajo. Sin embargo, se apreció claramente una alta predominancia de especies de *Penicillium* y *Aspergillus*.

Los datos del Cuadro 2 señalan que las muestras recolectadas en abril de 1977, época inmediatamente posterior a un verano relativamente seco, presentan razones (N° bacterias/N° hongos + N° actinomicetes) que tienden a ser menores que las obtenidas para los mismos suelos muestreados en Octubre de 1976. Esto significa, en términos relativos, que la predominancia de actinomicetes sobre bacterias es más marcada después del verano, con excepción del suelo Puerto Octay. Esto puede atribuirse a que las condiciones ambientales, de escasez de agua y altas temperaturas temporales, afectan con mayor intensidad la población bacteriana, disminuyendo notablemente su número, lo cual trae consigo un beneficio indirecto para actinomicetes y hongos, ya que la competencia por

CUADRO 1. POBLACION MICROBIANA DE ALGUNOS SUELOS VOLCANICOS Y NO-VOLCANICOS.
MUESTRAS RECOLECTADAS EN OCTUBRE DE 1976

Suelo	Nº de microorganismos/g suelo ($\times 10^5$)			Relación a/b + c
	bacterias a	hongos b	actinomicetes c	
Arrayán	300	3,0	120	2.4
Chapo (bosque)	10	3,5	5	1.2
Calafquén (bosque)	100	0,5	100	1.0
Frutillar	100	2,0	15	5.9
Reumén	200	1,0	300	0.7
Puerto Octay	50	20,0	10	1.0
Purulén	100	0,5	50	2.0
Santa Bárbara	80	0,5	100	0.8
Osorno	100	0,1	50	2.0
Paraguay	100	8,0	200	0.5
Padre Las Casas	150	1,2	100	1.5
Lastarria (bosque)	100	1,5	50	1.9
Calafquén (corte c.)	200	1,5	100	2.0
Corte Alto	300	9,0	100	3.0
Collipulli	3	0,3	10	0.3
Metrenco	100	2,5	200	2.5
Liray (no volcánico)	30	0,2	5	6.0

Nota: para verificar el efecto de las condiciones de humedad de almacenamiento sobre la población microbiana, 2 muestras (Osorno y Puerto Octay) se guardaron húmedas y después de 2 meses se hizo el recuento microbiológico. Los resultados fueron muy similares a los tabulados aquí.

CUADRO 2. POBLACION MICROBIANA DE SUELOS VOLCANICOS. MUESTRAS
RECOLECTADAS EN ABRIL DE 1977

Suelo	Nº de microorganismos/g suelo ($\times 10^5$)			Relación: a/b + c
	bacterias a	hongos b	actinomicetes c	
Arrayán	120	4,0	80	1.4
Frutillar	20	2,0	10	1.7
Reumén	120	3,0	75	1.5
Puerto Octay	170	0,9	50	3.3
Santa Bárbara	13	0,6	40	0.3
Osorno	90	3,0	60	1.4
Paraguay	50	0,7	36	1.4
Padre Las Casas	7	0,3	13	0.5
Lastarria (bosque)	9	4,0	9	0.5
Corte Alto	200	0,8	130	1.5
Collipulli	13	1,3	40	0.3
Metrenco	80	1,6	160	0.5

parte de las especies bacterianas en el medio ecológico disminuye (Alexander, 1977). En forma general, se puede observar que en las muestras recolectadas en abril de 1977 todos los grupos microbianos disminuyeron su número, debido al efecto inmediatamente anterior de un verano especialmente seco. En este

contexto, cabe destacarse el comportamiento del suelo Frutillar, en el cual se apreció una razón más baja en la muestra abril 1977 que en la muestra octubre 1976, lo que confirma la tendencia discutida anteriormente sobre predominio de hongos y actinomicetes después del verano.

Los hongos y actinomicetes se han descrito como los grandes grupos de microbios más activos en los suelos, en cuanto a sus capacidades de descomposición y síntesis de materiales orgánicos estables; por ejemplo, ácidos fúlvicos, húmicos y polisacáridos (Martin y Haider, 1971). Esto se debe indudablemente a la gran variedad de sistemas enzimáticos que estos organismos presentan, facultándolos para ejercer una actividad bioquímica notable (Dagley, 1971). Por otra parte, el volumen y por ende la superficie que presentan en el suelo las especies de hongos y actinomicetes es enorme, en comparación a las bacterias; esto indudablemente incide en los fenómenos de tipo físico-químico que ocurren *in situ*. Puede afirmarse, en consecuencia, que una actividad bioquímica alta de actinomicetes y hongos en un suelo debe manifestarse en su medio ecológico produciendo altos niveles de C orgánico estable y de agregación de partículas de suelo, lo que traerá como consecuencia que el suelo presente altos niveles de retención de agua. Consecuentemente, desde el punto de vista químico, la acelerada producción y acumulación de materiales húmicos y fúlvicos deberán producir niveles bajos de pH.

Desde el punto de vista ecológico, la ocurrencia de niveles bajos de pH en los suelos debe necesariamente estimular indirectamente la reproducción, sobrevivencia y desarrollo de hongos y actinomicetes; pues, si bien este factor es negativo para ellos, lo es en mayor grado para las especies bacterianas, produciendo una baja sustancial en el número de ellas, mucho más

marcada que para hongos y actinomicetes. Así, la drástica reducción del número de bacterias disminuye la competencia en el nicho ecológico por las fuentes de energía y elementos nutritivos. Esto trae consigo un beneficio indirecto para hongos y actinomicetes. El mayor aprovechamiento vital por parte de estos grandes grupos de microorganismos se ve reflejado en los valores bajos de la razón N° bacterias/N° de hongos + N° actinomicetes, que se destacan especialmente en el Cuadro 2.

En el Cuadro 3 se presentan algunas propiedades físico-químicas de los suelos estudiados. Puede apreciarse que los niveles de carbono orgánico, expresado como porcentaje de materia orgánica, son altos y alcanzan hasta un máximo de 26,6 por ciento para el suelo Ñadi Paraguay. Igualmente son altos los niveles de agregación y capacidad de retención de agua, propiedades que están directamente relacionadas a la presencia de macromoléculas orgánicas, especialmente polisacáridos (Martin, 1971; Martin, Ervin y Shepard, 1959), producidos como consecuencia de la actividad bioquímica de hongos y actinomicetes. Los niveles pH de estos suelos son bajos, especialmente los medidos en pasta de saturación obtenida con KCl 1 N, lo que indica la presencia de protones intercambiables en el complejo de intercambio del suelo.

El conjunto de propiedades señaladas en el Cuadro 3 parecen ser la consecuencia de la actividad bioquímica en general, y enzimática en particular, de las espe-

CUADRO 3. ALGUNAS PROPIEDADES FISICO-QUÍMICAS Y COMPOSICION DE SUELOS VOLCANICOS

Suelo (horiz. A)	Materia Orgánica %	Agregación %	Capacidad retención agua, (%)	pH		P dispo- nible (ppm)	Adsorción** máxima de P (mg P/100 g)
				H ₂ O	KCl		
Arrayán	10,4	92	125	6,04	5,35	1,7	538
Chapo	9,1	85	45	5,03	4,69		
Calalquén	19,5	91	130	5,36	5,11		
Frutillar	20,0	94	114	5,24	4,96	0,9	1.140
Reumén	14,8	89	126	4,80	4,85		
Puerto Octay	18,4	92	161	5,62	5,33	2,3	1.240
Purolón	18,5	91	120	5,00	4,92		
Collipulli	2,5	97	75	5,10	4,14	1,5	426
Santa Bárbara	7,1	95	84	5,18	4,55	2,7	960
Osorno	14,8	90	124	5,40	5,00	1,8	624
Paraguay	26,6	92	90	4,80	4,42		
Padre L.C.	3,1	84	79	5,20	4,43		
Lastarria	22,7	81	145	5,37	5,13		
Metrenco	13,4	93	115	5,23	5,00	1,7	806
Calafquén	14,6	85	107	5,87	5,58		
Corte Alto	23,3	87	175	4,54	4,52	2,3	895

* Medido por el método Bray Kurtz N° 1.

** Calculada mediante la isoterma de Langmuir. Datos extractados en parte de otros trabajos de investigación realizados en el Departamento de Análisis Químico, Facultad de Ciencias Básicas y Farmacéuticas, U. de Chile.

cias de hongos y actinomicetes que dominan la ecología microbiana en estos suelos. El bajo nivel del pH de estos suelos sería uno de los factores más importantes en que se apoyaría la preeminencia ecológica de las especies de hongos y actinomicetes. Esto abre, entonces, una incógnita importante en lo que se refiere al uso indiscriminado de técnicas de encalado en estos suelos. Evidentemente, una neutralización del pH del suelo produciría una alteración importante de la ecología microbiana, cuyas consecuencias son difíciles de preveer.

La presencia, propiedades y efectos de los alofanos en estos suelos ha sido estudiada con bastante profundidad (Appelt, 1974; Galindo, 1974). Basándose en esos estudios, se puede afirmar que los bajos niveles de P disponible y las altas capacidades de retención de P de los suelos derivados de cenizas volcánicas, que se muestran parcialmente en el Cuadro 3, son consecuencia de la alta actividad de las superficies expuestas de estos coloides inorgánicos amorfos, de carga variable y de razón $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ variable (Escudey, 1978). Además, la interacción físico-química de estas superficies inorgánicas con coloides y aniones

simples orgánicos, es un factor que también incide directamente en los procesos de fijación de fósforo (Appelt, 1974).

La estabilización y, consecuentemente el prolongado tiempo de residencia de los polímeros de naturaleza húmica en estos suelos, está también directamente relacionada con la actividad de superficie del alofán (Zunino y otros; Martin y otros, 1981, en prensa). Esta superficie físico-químicamente activa adsorbe las macromoléculas orgánicas (ácidos húmicos, fúlvicos, polisacáridos, enzimas, etc.) y las protege de ulteriores degradaciones microbiológicas (Filip, 1973).

Puede concluirse que los suelos chilenos derivados de cenizas volcánicas constituyen ecosistemas evolucionados, que se apoyan en forma importante en el hecho de que los procesos bioquímicos originados en su flora microbiana, dominada por hongos y actinomicetes, están siendo favorecidos o estimulados por los procesos físico-químicos de adsorción, producidos por las superficies activas de los coloides alofánicos que estos suelos poseen.

RESUMEN

La población microbiana de los suelos derivados de cenizas volcánicas está caracterizada por una alta incidencia relativa de hongos y actinomicetes; la población de bacterias en cambio aparece claramente deprimida. Esto constituye una característica fundamental de estos suelos desde el punto de vista de la ecología microbiana y los distingue claramente de los suelos no alofánicos. Los niveles altos de carbono orgánico, que indican acumulación de materia orgánica, la gran capacidad de retención de agua y el alto grado de agregación serían una consecuencia de la alta actividad bioquímica en general, y enzimática en particular, que presenta la flora microbiana de estos suelos. Por otra parte, los bajos niveles de pH favorecerían

paralelamente la preeminencia ecológica de hongos y actinomicetes sobre la población bacteriana. Las superficies activas de los componentes inorgánicos amorfos, de tipo "alofánico", contribuiría a crear condiciones físico-químicas apropiadas para la adsorción y estabilización de polímeros húmicos u otros productos del metabolismo microbiano. En esta forma, los suelos derivados de cenizas volcánicas de Chile constituyen ecosistemas evolucionados en los cuales los procesos bioquímicos, originados en su flora microbiana, están siendo ampliamente favorecidos o estimulados por los procesos físico-químicos naturales que se originan en sus componentes inorgánicos.

SUMMARY

Biochemistry of soils derived from volcanic ashes. I. Microbiological ecology and its relation with their physico-chemical properties

The number of fungi and actinomycetes in volcanic-ash derived soils is very high while bacteria is clearly depressed. From a microbiological standpoint and unlike non-volcanic soils, this constitutes the most

striking feature of these soils. High levels of organic carbon, indicating organic matter accumulation, high water retention capacity and high agregation percentages would be a consequence of biochemical activi-

ties, particularly enzymatic ones, sustained by such unusual microbial ecology. By the other hand, low pH values in the soil environment depress bacteria multiplication, thus favoring indirectly fungi and actinomyces competition.

Physico-chemical conditions created in the soil systems by amorphous allophanic active surfaces would

enhance adsorption, and consequently stabilization, of the microbial humic polymers and other metabolic products. It is concluded that soils derived from volcanic ashes in Chile represent mature ecosystems wherein biochemical processes mainly supported by fungi and actinomyces, are being enhanced by physicochemical mechanisms, furnished by the inorganic components in the natural environment.

LITERATURA CITADA

- ALEXANDER, M. 1977. Introduction to soil Biochemistry. John Wiley, New York.
- APPELT, H. 1974. Interactions between organic compounds, minerals and ions in volcanic ash derived soils. Ph.D. Dissertation, U. of California, Riverside.
- DAGLEY, S. 1971. Catabolism of aromatic compounds by microorganisms. *Adv. Microb. Physiol.* 6: 1-47.
- ESCUDEY, M. 1978. Efectos de los recubrimientos sobre las propiedades físico-químicas de superficies de coloides inorgánicos naturales. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacológicas, U. de Chile.
- FILIP, Z. 1973. Clay minerals as factors influencing biochemical activity of soil microorganisms. *Folia Microbiologica* 18: 56-74.
- GALINDO, G. 1974. Electric charges, sorption of phosphate and cation exchange equilibria in Chilean Dystrandepts. Ph.D. Dissertation, U. of California, Riverside.
- JACKSON, M.L. 1958. Soil Chemical Analysis. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- KUSTER, L. AND P. WILLIAMS. 1964. Glycerol-casein agar of actinomyces. *Nature*. 202: 929-930.
- MacLAREN, A.D. AND J. SKUJINS. 1971. Soil Biochemistry. Vol. II. Marcel Dekker, New York.
- MARTIN, J.P. 1950. Use of acid rose benzal and streptomycine in the method for estimating soil fungi. *Soil Sci.* 69: 215-232.
- MARTIN, J.P. 1971. Decomposition and binding action of polysaccharides in soil. *Soil Biol. and Biochem.* 3: 33-41.
- MARTIN J.P. AND K. HAIDER. 1971. Microbial activity in relation to soil humus formation. *Soil Sci.* 111: 54-63.
- MARTIN, J.P., J.O. ERVIN AND R.A. SHEPARD. 1959. Decomposition and agregating effect of fungus cell material in soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 23: 217-220.
- MARTIN, J.P., ZUNINO, H., PEIRANO, P., CAIOZZI, M. AND HEIDER, K. 1981. Decomposition of ¹⁴C-labeled organic substrates in volcanic ash-derived soils of Chile. 2. Lignins, model humic acid polymers, and fungal melanins. *Soil Biol. and Biochem* (en prensa).
- OLSEN, S.R. AND F.S. WATANABE. 1957. A method to determine P absorption maxima of soils as measured by the Langmuir isotherm. *Soil Sci. Soc. Proc.* 21: 144-147.
- SCHAEFER R., URBINA, A. AND SAN MARTIN, E. 1969. Microbial activities as a mechanism of ecosystem regulation in the hydromorphic volcanic ash soils of southern Chile. Panel on volcanic ash soils in Latin America. *Turrialba, Costa Rica* 6: 1-14.
- SCHAEFER R., URBINA, A. SAN MARTIN, E. KLENNER, N. 1971. Estudios sobre actividad de las poblaciones microbianas en suelos chilenos. Ministerio de Agricultura. Proyecto de estudios y reconocimiento de suelos chilenos. ONU-MINAGRI. Santiago, Chile.