

# Actividad biológica y enzimática en suelos afectados por sales del Alto Valle de Río Negro y Neuquén

P. GILI<sup>1\*</sup>, G. MARANDO<sup>1</sup>, J. IRISARRI<sup>1</sup>, M. SAGARDOY<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Comahue, 8303 Cinco Saltos, Río Negro,

<sup>2</sup> Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur, 8000 Bahía Blanca.

\*Correspondencia. E-mail: pgili@neunet.com.ar.

## RESUMEN

En el presente trabajo se estudiaron los cambios que provocó el lavado de cinco suelos afectados por sales sobre la actividad biológica (número de bacterias  $g^{-1}$  y producción de  $CO_2$ ) y enzimática (catalasa, deshidrogenasa, ureasa y fosfotriesterasa) de los mismos. El lavado disminuyó la conductividad eléctrica (CE) y modificó el tipo de sales dominantes en los suelos. La producción de  $CO_2$  y la actividad de la fosfotriesterasa fue significativamente mayor ( $p < 0,05$ ) en un suelo lavado (Torrifluventes Típicos Centenario); el incremento fue del 88% y 71%, respectivamente. Los resultados demostraron que la disminución de la salinidad por lavado no ocasionó comportamientos significativamente diferentes, en la mayoría de los parámetros bióticos estudiados, bajo las condiciones en que se realizó este estudio.

**Palabras claves:** actividad biológica, enzimas, sales, suelos salinos

## SUMMARY

**Biological and enzymatic activities in salts affected soils from Alto Valle de Río Negro and Neuquén.** Changes in the biological activity (number of bacteria  $g^{-1}$  and  $CO_2$  production) and in the enzymatic activity (catalase, deshydrogenase, urease and phosphotriesterase) caused by the leaching of five soils affected by salts have been studied. The leaching decreased the electric conductivity (CE) and modified the type of dominant salts in the soils. Production of  $CO_2$  and the activity of the phosphotriesterase was significantly higher ( $p < 0,05$ ) in a leached soil (Torrifluventes Typical Centennial); the increment were 88% and 71%, respectively. The results showed that the decrease of the salinity by leaching did not produce significantly different results in most of the biotic parameters analysed.

**Key words:** biological activity, enzymes, salts, saline soils

## INTRODUCCIÓN

Las regiones áridas y semiáridas comprenden más de la tercera parte de las tierras del mundo. La mayoría de los suelos en esas regiones tienen un alto potencial de fertilidad si son irrigados y se mantiene un balance de nutrientes. No obstante la irrigación en algunas ocasiones puede llevar a la acumulación de sales solubles, las cuales no sólo provocan un déficit nutricional sino que también bajan el potencial osmótico de la solución del suelo reduciendo la producción de los cultivos (20).

En Australia la salinidad de los suelos es uno de los principales problemas de los distritos agrícolas produciendo una disminución significativa en el rendimiento de los cultivos (27).

Este fenómeno también se presenta en nuestro país, en diversos sectores de las provincias de Río Negro, Mendoza, San Juan y Santiago del Estero (13). En la región del Alto Valle de Río Negro y Neuquén la principal producción agrícola, peras y manzanas, de-

pende enteramente del riego. En la práctica y de acuerdo a los estudios realizados por Maas (19), esos cultivos son sensibles al tenor salino de los suelos. La salinidad, además de afectar el crecimiento de algunas plantas agrícolas, puede ejercer un proceso adverso sobre la biota y sobre los procesos biológicos esenciales que mantienen la calidad de un suelo (24). En los estudios de fertilidad de suelos se utilizaron las propiedades físicas y químicas para determinar la productividad de los mismos, ya que los cambios en el tenor de materia orgánica son muy lentos y se pueden requerir años para poder medir los resultantes de las perturbaciones que produce el hombre (6). Las características biológicas y las actividades enzimáticas son sensibles al estrés ambiental, por estas razones se pueden considerar apropiadas para estimar la calidad de un suelo (36). El objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto del lavado sobre la actividad biológica y enzimática de cinco suelos que presentaban distintos niveles de salinidad.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El área estudiada corresponde al sector centro-oeste del Alto Valle de Río Negro y Neuquén, ubicado a lo largo del paralelo 39° lat. Sur y los meridianos 68° y 66°30' long. Oeste. El estudio se realizó con cinco tipos de suelos, caracterizados a nivel de subgrupo según el Soil Survey Staff (31) como: Haplocambides Típicos, dos Torrifuventes Típicos (uno de Cinco Saltos y otro de Centenario), Natrargides Cálcidos y Aquicambides Típicos y seleccionados por los niveles de salinidad de acuerdo a sus valores de conductividad eléctrica. Cada suelo fue sometido a la práctica de lavado controlado por el tenor salino, mediante los valores de conductividad eléctrica (CE) del extracto acuoso. Las evaluaciones químicas y biológicas, se efectuaron seis meses después del lavado, excepto en los Torrifuventes Típicos (Centenario) donde dicha evaluación se efectuó a los 24 meses. Los estudios químicos de los suelos se realizaron según las técnicas descriptas por Jackson (14); el tipo de salinidad y la clasificación de los suelos de acuerdo con el contenido de iones y sales tóxicas (16). El estudio de bacterias se realizó empleando la técnica de diluciones decimales en placas de Petri (39) y el medio agar nutritivo con incubación a 29 °C durante siete días. La actividad biológica global de los suelos mediante la determinación de CO<sub>2</sub> en sistemas cerrados después de 14 días de incubación a 28 °C y de acuerdo con Anderson (1). La actividad de la catalasa fue estimada aplicando la técnica de Johnson y Temple (15); deshidrogenasa según

Casida *et al.* (2); ureasa mediante el método de la urea remanente (34) y la fosfotriesterasa determinando la liberación de p-nitrofenol a partir de p-nitrofenilfosfato (7, 35). El muestreo se realizó al azar y todos los estudios se realizaron por triplicado. Con los datos se realizó un análisis de la varianza, prueba de comparación de medias según Tukey y estudios de correlación entre los parámetros químicos y biológicos determinados (30).

## RESULTADOS

En la Tabla 1 se presentan las características químicas y el tipo de salinidad de los suelos.

El número de bacterias aerobias g<sup>-1</sup> de suelo osciló entre 1,6 x 10<sup>9</sup> en los Haplocambides Típicos no lavados (NL) y 4 x 10<sup>6</sup> en los Torrifuventes Típicos (Centenario) lavado (L) (Cuadro 2). En los Haplocambides Típicos (NL) donde la CE fue la más elevada de todos los suelos estudiados (14 dS m<sup>-1</sup>), se observó el mayor número de bacterias, resultados que coinciden con lo observado por otros autores (38). Es reconocido que bacterias gram positivas y gram negativas deben desarrollar estrategias apropiadas para poder crecer en ambientes de alta

**Tabla 1.** Materia orgánica, conductividad eléctrica y tipo de salinidad de los cinco suelos lavados y no lavados pertenecientes al Alto Valle de Río Negro y Neuquén

Suelos	MO g kg <sup>-1</sup>	CE dS m <sup>-1</sup>	Tipo de salinidad según la composición de (16)	
			aniones	cationes
Haplocambides Típicos (NL)	34,0	14,0	de cloruro	cálcico sódica
Haplocambides Típicos (L)	23,0	4,6	de cloruro	cálcico sódica
Torrifuventes Típicos (NL) (Cinco Saltos)	49,0	11,1	de cloruro	sódico magnésica
Torrifuventes Típicos (L) (Cinco Saltos)	20,0	3,1	de cloruro	sódico magnésica
Natrargides Cálcidos (NL)	33,0	5,5	de sulfato de cloruro	sódico cálcica
Natrargides Cálcidos (L)	8,0	2,7	de sulfato	sódico cálcica
Torrifuventes Típicos (NL) (Centenario)	3,0	6,1	de cloruro	sódica
Torrifuventes Típicos (L) (Centenario)	10,0	1,6	de cloruro	sódico cálcica
Aquicambides Típicos (NL)	44,5	1,5	I	cálcico sódica
Aquicambides Típicos (L)	35,0	0,6	I	sódico cálcica

I: Indeterminado, los valores de sulfato son = 0.

NL: no lavado; L: lavado; MO: materia orgánica; CE: conductividad eléctrica.

salinidad (9, 38). En la Tabla 2 se muestra que a pesar de los cambios detectados en el número de bacterias presentes en los suelos sometidos a lavado, esas diferencias no fueron significativas ( $p < 0,05$ ), resultados que coinciden con los estudios realizados por Pololenko *et al.* (26). En los Haplocambides Típicos la producción de  $\text{CO}_2$  en los suelos lavados fue significativamente superior ( $p < 0,05$ ) que en los suelos no lavados. La disminución de la CE (9,4 veces) favoreció la actividad respiratoria. El lavado de los Torrifuventes Típicos (Cinco Saltos) y Aquicambides Típicos provocó un efecto negativo significativo ( $p < 0,05$ ) en la respiración microbiana de esos suelos, produciendo una disminución del 37% y 350% del  $\text{CO}_2$  liberado, respectivamente. Las condiciones ambientales de los Aquicambides Típicos (NL), baja CE en superficie ( $1,5 \text{ dS m}^{-1}$ ) y elevado contenido de materia orgánica ( $44,5 \text{ g kg}^{-1}$ ), favorecieron el crecimiento microbiano y su metabolismo, influyendo sobre la velocidad de descomposición de la materia orgánica y en consecuencia sobre la liberación de  $\text{CO}_2$ .

En los Natrargides Cálcidos (L) y (NL) se observó una escasa producción de  $\text{CO}_2$ ; esos resultados coinciden con estudios realizados por Pankhurst *et al.* (24), en suelos salinos y alcalinos del sur de Australia que fueron sembrados con pasturas.

La actividad microbiana no sólo puede estar influenciada por la severidad del estrés osmótico sino también por la toxicidad de iones específicos (33). Se espera que el lavado de los suelos reduzca el estrés osmótico, ya que disminuye la concentración de sales en la solución del suelo; sin embargo, en este estudio no todos los iones disminuyeron en la misma proporción,

cambiando, en consecuencia, la naturaleza de las sales presentes en la solución suelo. En los Torrifuventes Típicos (Centenario) dominados por el tipo de salinidad cloruro sódica, el lavado no sólo produjo una disminución de la CE sino también de la relación Na/Ca, provocando un cambio en el tipo de salinidad y transformándola en cloruro sódica cálcica (Tabla 1). La cantidad de  $\text{CO}_2$  producido en la respiración fue significativamente mayor ( $p < 0,05$ ) con respecto al suelo no lavado. El aumento del 88% de la actividad biológica (medida como evolución de  $\text{CO}_2$ ) y un 12,5% de la actividad de la deshidrogenasa podría ser atribuido a la disminución de iones Na. Cabe destacar que en estos suelos las evaluaciones se realizaron 24 meses después del lavado, tiempo que permitió que aumentara el contenido de la materia orgánica ( $3,0\text{-}10,0 \text{ g kg}^{-1}$ ) con las consecuencias que provoca el aumento de la disponibilidad de nutrientes sobre el desarrollo microbiano y en la productividad de las plantas (18).

La actividad enzimática de la catalasa se determinó mediante la cantidad de  $\text{H}_2\text{O}_2$  que fue transformada después de ser agregada al suelo. Los suelos no lavados mostraron capacidades catalíticas que oscilaron entre 17,7 (Torrifuventes Típicos Cinco Saltos) y 26,0 mmol de  $\text{H}_2\text{O}_2$  transformada  $\text{g}^{-1} \text{ min}^{-1}$  (Torrifuventes Típicos Centenario) y entre 15,0 (Aquicambides Típicos) y 25,3 mmol de  $\text{H}_2\text{O}_2$  transformada  $\text{g}^{-1} \text{ min}^{-1}$  (Haplocambides Típicos) en los suelos lavados (Tabla 2). La actividad de esta enzima no mostró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) cuando se aplicó la técnica de rehabilitación por lavado de los suelos y tampoco existió una correlación significativa entre la actividad de esa enzima y la materia orgánica

**Tabla 2.** Efecto del lavado sobre la actividad biológica (número de bacterias y producción de  $\text{CO}_2$ ) y enzimática (catalasa, deshidrogenasa, ureasa y fosfotriesterasa) de cinco suelos del Alto Valle de Río Negro y Neuquén

Actividad microbiana y enzimática	Suelos									
	HT*		TT(CS)		NC		TT(C)		AT	
	NL	L	NL	L	NL	L	NL	L	NL	L
Bacterias aerobias (Log UFC $\text{g}^{-1}$ suelo)	7,20a	7,03a	7,59a	7,05a	7,06a	7,86a	7,0a	6,62a	8,0a	7,0a
Producción de $\text{CO}_2$ ( $\text{mg CO}_2 \text{ g}^{-1} 14 \text{ d}^{-1}$ )	99,5b	22,4a	121,0a	88,4b	60,6a	56,2a	84,7b	159,6a	195,1a	35,5b
Catalasa (mmol $\text{H}_2\text{O}_2$ transformada $\text{g}^{-1} \text{ min}^{-1}$ )	24,4a	25,3a	17,7a	15,1a	21,3a	20,4a	26,0a	22,2a	22,0a	15,0a
Deshidrogenasa ( $\mu\text{g TPF g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ )	2,5a	1,6a	4,0a	3,8a	1,6a	1,3a	2,4a	2,7a	1,2a	1,9a
Ureasa ( $\mu\text{g urea hidrolizada g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ )	209,6a	178a	202,3a	153,3a	160,1a	167,2a	177,1a	172,2a	15,7a	23,2a
Fosfotriesterasa ( $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ )	2,37a	3,93a	45,93a	41,2a	14,3a	10,9a	40,89b	69,8a	30,66a	21,55a

\*[HT: Haplocambides Típicos; TT(CS): Torrifuventes Típicos (Cinco Saltos); NC: Natrargides cálcico; TT(C): Torrifuventes Típicos Centenario; AT: Aquicambides Típicos]. Valores con letras diferentes para un mismo suelo son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

presente en los suelos. La actividad de la deshidrogenasa fue medida por la reducción del sustrato cloruro de 2,3,5-trifeniltetrazolio (TTC) agregado al suelo, proceso que resultó en la producción de entre 1,2 y 4,0 mg de 2,3,5-trifenilformazán (TPF)  $\text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$  en los suelos salinos no lavados y entre 1,3 y 3,8 mg  $\text{TPFg}^{-1} \text{h}^{-1}$  en los suelos lavados (Tabla 2). La actividad de la deshidrogenasa no se correlacionó con la respiración, a pesar de ser esa enzima parte integral de los microorganismos. Resultados similares fueron obtenidos por Skujins (29) y Frankenberger y Dick (8) cuando utilizaron mediciones de esta enzima como indicadores microbiológicos en suelos de USA. Sólo en los Natrargides Cálcidos la actividad respiratoria y la deshidrogenasa tuvieron comportamientos similares y en ambos casos la alcalinidad produjo cambios en la composición microbiana de los suelos. En los Torrifluentes Típicos Centenario y en los Aquicambides Típicos se observó un incremento de la actividad deshidrogenasa (entre 12,5% y 58% respectivamente) respecto a los suelos no lavados. No obstante la práctica del lavado no produjo cambios estadísticamente significativos ( $p < 0,05$ ) en la actividad de esa enzima.

La actividad enzimática de la ureasa se determinó midiendo la cantidad de urea hidrolizada después de ser agregada al suelo bajo condiciones óptimas de incubación. La ureasa, está asociada a la nutrición nitrogenada y su producto principal, el amoníaco, es importante en la producción de proteínas de las plantas. La variación de la actividad ureásica entre los suelos está usualmente relacionada con las propiedades físicas y químicas. Los suelos estudiados mostraron capacidades potenciales de degradación de urea que oscilaron entre 15,7 (Aquicambides Típicos) y 209,6 mg urea hidrolizada  $\text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$  (Haplocambides Típicos) en los suelos no lavados y entre 23,2 (Aquicambides Típicos) y 178,3 mg urea hidrolizada  $\text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$  (Haplocambides Típicos) en los suelos lavados. En general, la disminución de la CE y el lavado de las sales no mejoró significativamente la actividad de la ureasa en cada uno de los suelos investigados (Tabla 2). La urea es la fuente de nitrógeno más ampliamente usada en el mundo (11). Los suelos del Alto Valle de Río Negro y Neuquén son deficitarios en nitrógeno, siendo necesaria la aplicación de fertilizantes nitrogenados. Los valores obtenidos en la actividad de la ureasa no estaban relacionados con el contenido de materia orgánica (MO) de los suelos. En los Aquicambides Típicos (NL), donde los valores de MO fueron los más elevados (44,6  $\text{g kg}^{-1}$ ), se observó la actividad ureásica mínima. Estos resultados no coinciden con los obtenidos por Klose y Tabatabai (17) que trabajando con suelos de Iowa demostraron que existía una asociación significativa entre el contenido de C orgánico y la actividad de la ureasa. En este estudio, en la mayoría de los suelos lavados donde la MO disminuyó, la actividad de la ureasa no disminuyó significativamente ( $p < 0,05$ ).

La actividad de la fosfotriesterasa, enzima del ciclo del P, osciló entre 3,93 (Haplocambides Típicos) y 69,82  $\mu\text{g } p\text{-nitrofenol } \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$  (Torrifluentes Típicos Centenario) en los suelos lavados y entre 2,37 (Haplocambides Típicos) y 45,93  $\mu\text{g } p\text{-nitrofenol } \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$  (Torrifluentes Típicos Cinco Saltos) en los no lavados (Tabla 2). En los Haplocambides Típicos la práctica del lavado redujo sustancialmente la salinidad (de 14,0 a 4,6  $\text{dS m}^{-1}$ ), no obstante no existió una correlación significativa con la actividad de la enzima. En estos suelos la actividad de la fosfotriesterasa fue muy baja, posiblemente debido al mayor tenor de arcillas de esos suelos; lo que nos permite asumir que la enzima podría estar inmovilizada sobre esos minerales que usualmente están cargados negativamente.

En los Torrifluentes Típicos Centenario, el efecto de la técnica del lavado, cambió las características tóxicas de las sales de cloruro y produjo un aumento significativo ( $p < 0,05$ ) en la actividad de la fosfatasa. El estudio realizado mostró que las sales de los suelos no tenían un efecto negativo sobre la actividad de esa enzima. En estos suelos el comportamiento de la fosfatasa fue similar a lo observado en el proceso de respiración, este efecto podría atribuirse al incremento del tenor de MO de los suelos.

## DISCUSIÓN

En los últimos años existe un interés especial por identificar aquellas propiedades que afectan la salud y la calidad de los suelos. La evaluación de la técnica de lavado de los suelos se ha estudiado a través de procesos microbiológicos, utilizando parámetros tales como respiración y actividades enzimáticas (10, 23). Además, distintos autores propusieron que la actividad enzimática provee un índice de los cambios de la calidad de un suelo (5, 37). La práctica de lavado disminuyó la CE y produjo cambios en el tipo de sales, no obstante estos cambios no favorecieron el desarrollo de bacterias heterótrofas bajo las condiciones en que se realizó este estudio. La evolución del  $\text{CO}_2$  mostró comportamientos diferentes en los suelos cuando se aplicó la técnica del lavado. En los Torrifluentes Típicos (Centenario) el cambio en el tipo de sales permitió una mayor actividad biológica determinada a través de la evolución del  $\text{CO}_2$ , y la actividad de la enzima fosfatasa.

En general, las enzimas hidrolíticas son una buena elección como índices de calidad porque los organismos descomponedores de residuos orgánicos son probablemente los que más contribuyen a la actividad enzimática de un suelo (32). La catalasa es una oxidorreductasa que cataliza la transformación de una de las formas tóxicas del oxígeno para los organismos vivos. El peróxido se forma usualmente durante los procesos respiratorios;

ese compuesto es relativamente estable y es producido en pequeñas cantidades por casi todos los organismos que crecen aeróbicamente. Actúa principalmente a nivel intracelular, aunque permanece activo fuera de las células microbianas asociado con la materia orgánica del suelo y/o adsorbida sobre minerales arcillosos (25). Es posible que esos factores incidieran para que la práctica del lavado de los suelos no provocara diferencias significativas en la actividad de la catalasa.

La deshidrogenasa refleja la actividad oxidativa de la microflora total de un suelo debido a que puede utilizar  $O_2$  y otros compuestos como aceptores terminales de electrones (4); más aún, indica la actividad promedio de la población de microorganismos de un suelo (34). De acuerdo a los estudios realizados la actividad de la deshidrogenasa fue más afectada en los suelos sódicos (Natrargides Cálculos) que se caracterizaron por su bajo tenor de materia orgánica y alto contenido de sodio. Este comportamiento no se observó en la actividad de la catalasa.

La producción de peras y manzanas en el Alto Valle tiene una alta demanda de fertilizantes nitrogenados y uno de los más utilizados es la urea. La actividad de esta enzima no mejoró cuando los suelos fueron lavados y no se demostró su relación con el tenor de MO de los suelos estudiados. Esto puede ser atribuido a que la ureasa extracelular es adsorbida por partículas de arcilla y materia orgánica humificada y a que puede ocurrir que los suelos tengan niveles de actividad ureásica que no están necesariamente relacionados en forma directa a los números, pesos o actividades de los organismos (22). El contenido de iones tóxicos específicos puede tener una influencia significativa sobre el crecimiento microbiano en suelos salinos. McClung y Frankenberger (21) realizaron estudios de las transformaciones del nitrógeno en suelos afectados por sales y demostraron que un 4% de la urea aplicada en los suelos no salinos se volatilizaba en forma de amonio y hasta un 15% cuando la salinización era de  $20 \text{ dS m}^{-1}$  con NaCl. Heilman (12) demostró que la reducción de la nitrificación era más severa en presencia de sales de cloruro (NaCl) comparadas con las de sulfato ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) agregadas en cantidades equivalentes. En este estudio no hubo diferencias en la actividad de dicha enzima en los Natrargides Cálculos y Torrifluentes Típicos (Centenario), con diferentes tipos de salinidad de sulfato y de cloruro, respectivamente. Sindhu y Cornfield (28) atribuyeron la baja toxicidad de los sulfatos, en relación a los cloruros, a una mejor utilización de la forma anión en las células microbianas para la síntesis de aminoácidos, vitaminas, sulfolípidos y otros aminoácidos esenciales, mientras que las sales de cloruro eran probablemente no incorporadas en rutas metabólicas y se acumularon a niveles tóxicos. La baja actividad enzimática de la ureasa reduciría el porcentaje de hidrólisis y la subsecuente liberación de amonio en un suelo dado (3).

Finalmente, el estudio demostró que la actividad enzimática no cambió significativamente cuando disminuyó la CE de los suelos. Es posible que ese comportamiento este influenciado por la enzima estudiada y por la naturaleza de las sales presentes en los suelos.

La investigación realizada demostró que el lavado disminuyó la salinidad de los suelos y la respiración (producción de  $\text{CO}_2$ ) resultó la variable más sensible a los cambios que provocó el lavado. Además, se observó que en un mismo suelo la actividad potencial de tres enzimas (catalasa, deshidrogenasa y ureasa), y la densidad de las bacterias aerobias, no se alteró significativamente por el cambio de salinidad. Finalmente, de acuerdo a los resultados obtenidos en los Torrifluentes Típicos (Centenario) sería importante, cuando se realizan prácticas de lavado, implementar manejos adecuados que permitan incrementar la MO de esos suelos.

**Agradecimientos:** Este trabajo fue parcialmente financiado por la Secretaría de Investigación de la Universidad Nacional del Comahue (Proyecto A063).

## BIBLIOGRAFÍA

- Anderson JD (1982) Soil respiration. Page AL, Miller RH, Keeny DR (Ed). En: Methods of Soil Analysis. Agronomy N° 9, part 2. American Society of Agronomy. Madison, WI., p. 831-871.
- Casida LE, Jr, Klein DA, Santoro T (1964) Soil dehydrogenase activity. Soil Sci. 98: 371-376.
- Cookson P (1999) Spatial variation of soil urease activity around irrigated Date Palms. Arid Soil Res. Rehabil. 13: 155-169.
- Dick WA, Tabatabai MA (1993) Significance and potential uses of soil enzymes. Metting FB Jr (Ed.). En: Soil Microbial Ecology. Marcel Dekker, New York, p. 95-127.
- Dick RP (1992) A review: Long term effects of agricultural systems on soil biochemical and microbiological parameters. Agric. Ecosys. Environ. 40: 25-36.
- Dick RP (1994) Soil enzyme activities as indicators of soil quality. Doran *et al.* (Ed.). En: Defining soil quality for a sustainable environment. SSSA Spec. Publ. N° 35. Madison, p. 107-124
- Eivazi F, Tabatabai M A (1977) Phosphatases in soil. Soil Biol. Biochem. 9: 167-172.
- Frankenberger WT Jr, Dick WA (1983) Relationships between enzyme activities and microbial growth and activity indices in soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 47: 945-951.
- Galinski EA, Trüper HG (1994). Microbial behaviour in salt stressed ecosystems. FEMS Microbiol Rev. 15: 95-108.
- García C, Hernández T, Costa F (1994) Microbial activity in soils under mediterranean environmental conditions. Soil Biol. Biochem. 26: 1185-1191.
- Gautney J, Barnard AR, Penney DB, Kim YK (1986). Solid-state decomposition kinetics of phenyl phosphorodiamidate. Soil Sci. Soc. Am. J. 50: 792-797.
- Heilman P (1975) Effects of added salts on nitrogen release and nitrate levels in forest soil of the Washington Coastal Area. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 39: 778-782.
- Hijano EH, Basigalup DH (1995) El cultivo de alfalfa en la república Argentina. Hijano EH, Navarro A (Ed). En: La alfalfa en la Argentina INTA. Buenos Aires., p. 11-18.
- Jackson M L (1982) Análisis químicos de suelos. Ediciones Omega S.A. Barcelona, p. 190-232.

15. Johnson JL, Temple K L (1964). Some variable affecting the measurement of "catalase activity" in soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 28: 207-209.
16. Kaúrichev NP, Panov MV, Stratonóvich IP, Grechin IP, Sávich V I, Ganzhara NF, Mershin AP (1984). *Prácticas de Edafología*, Editorial Mir, Moscú, p. 288.
17. Klose S, Tabatabai M (2000). Urease activity of microbial biomass in soils as affected by cropping systems. *Biol. Fertil. Soil* 31: 191-199.
18. Liu X, Lindemann W, Whitford WG, Steiner RL (2000). Microbial diversity and activity of disturbed soil in the northern Chihuahuan. *Desert. Biol. Fertil. Soil.* 32: 243-249.
19. Maas EV (1986) Salt tolerance in plants. *Appl. Agric. Res.* 1: 12-26.
20. Maas EV, Hoffman GJ (1977) Crop salt tolerance-current assesment. *J. Irrig. Drain. Div. ASCE.* 103: 115-134.
21. Mc Clung G, Frankenberger WT Jr (1985) Soil nitrogen transformations as affected by salinity. *Soil. Sci.* 139: 405-411.
22. Mc Garity J W, Myers MG (1967) A survey of urease activity in soils of Northern New South Wales. *Plant Soil* 27: 217-238.
23. Nannipieri P, Grego S Ceccanti B (1990) Ecological significance of the biological activity in soil. En: Bollag J M, Stotzky G (Eds), *Soil Biochemistry*, vol 6. Marcel Dekker, New York, p. 293-355.
24. Pankhurst C, Yu S, Hawke B, Harch B (2001) Capacity of fatty acid profiles and substrate utilization patterns to describe differences in soil microbial communities associated with increased salinity or alkalinity at three locations in South Australia. *Biol. Fertil. Soil* 32: 204-217.
25. Perucci P, Bonciarelli U, Santilocchi R, Bianchi AA (1997) Effect of rotation, nitrogen fertilization and management of crop residues on some chemical, microbiological and biochemical properties of soil. *Biol. Fertil. Soils* 24: 311-316.
26. Pololenko DR, Mayfield CI, Dumbroff EB (1981) Microbial responses to salt-induced osmotic stress. I. Population changes in an agricultural soil. *Plant Soil* 59: 269-285.
27. Robertson G (1996) Saline land in Australia –its extent and predicted trends. *Aust J Soil Water Conserv.* 9 : 4-7.
28. Sindhu MA, Cornfield A (1967) Comparative effects of varying levels of chlorides and sulphates of sodium, potassium, calcium, and magnesium on ammonification and nitrification during incubation of soil. *Plant Soil* 27: 468-472.
29. Skujins JJ (1978) History of abiotic soil enzyme research. Burns RG (Ed). En: *Soil Enzymes*. Academic Press, New York, p. 1-49.
30. Snedecor GW, Cochran WG (1971) *Statistical Methods*. The Iowa State University Press, Ames, Iowa, Sixth Edition.
31. Soil Survey Staff (1994) *Keys to soil taxonomy*. 6<sup>th</sup> ed. SCS, U.S. Department of Agriculture. Washington D.C., USA.
32. Speir TW (1977) Studies on a climosequence of soils, in tussock grasslands 10. Distribution of urease, phosphatase, sulphatase activities in soil fractions. *N. Z. J. Sci.* 20: 151-157.
33. Steinborn J, Roughley RJ (1975) toxicity of sodium and chloride ions to *Rhizobium spp.* in broth and peat culture. *J. Appl. Bacteriol.* 39: 133-138
34. Tabatabai MA (1994) Soil enzymes. Weaver R. W., Angle J. S. and Bottomley P. S. (Eds). En: *Methods of Soil Analysis. Part 2. Microbiological and Biochemical Properties*. SSSA Book Series No. 5, Madison, p. 775-833.
35. Tabatabai MA Bremner JM (1969) Use of *p*-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biol. Biochem.* 1: 301-307.
36. Trasar-Cepeda C, Leirós C, Gil-Sotres F, Seoane S (1998) Towards a biochemical quality index for soils: An expression relating several biological and biochemical properties. *Biol. Fertil. Soils* 26: 100-106.
37. Visser S, Parkinson D (1992) Soil biological criteria as indicators of soil quality: soil microorganisms. *Am. J. Altern. Agric.* 7: 33-37.
38. Zahran HH (1997) Diversity, adaptation and activity of the bacterial flora in saline environments. *Biol. Fertil. Soils* 25: 211-223.
39. Zuberer DA (1994). Recovery and enumeration of viable bacteria. Weaver R. W., Angle J. S. and Bottomley P. S. (Eds). En: *Methods of Soil Analysis. Part 2. Microbiological and Biochemical Properties*. SSSA Book Series N° 5, Madison, p. 119-144.