



## Correlaciones entre actividades enzimáticas y parámetros microbiológicos en suelos lacustres y aluviales de Venezuela bajo diferentes usos

**Magaly Ruiz-Dager**

Institución: Centro de Investigación y Extensión en Suelos y Aguas (CIESA), Universidad Rómulo Gallegos

Dirección: San Juan de los Morros, Estado Guárico, Venezuela  
Correo electrónico: magaruizdager@gmail.com

**Jorge Paolini**

Institución: Centro de Ecología, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC)

Dirección: Apartado 21827, Caracas 1020-A, Venezuela  
Correo electrónico: mapire3000@gmail.com

### RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar las posibles correlaciones existentes entre algunos parámetros microbiológicos del suelo (respiración basal, carbono de la biomasa microbiana) y la actividad de algunas enzimas involucradas en los ciclos del C, N y P, a fin de conocer si estas últimas pudiesen considerarse como indicadores de la actividad microbiana en suelos aluviales y lacustres de la Cuenca del Lago de Valencia (Venezuela) bajo diferentes usos. Se determinaron las actividades de la  $\alpha$ -glucosidasa, ureasa, proteasa, fosfomonoesterasa ácida y alcalina, deshidrogenasa y la amonificación de la arginina, en suelos bajo vegetación natural, cultivo de caña de azúcar y banano. Se encontraron correlaciones positivas y significativas entre las actividades enzimáticas y el carbono de la biomasa microbiana y la respiración basal, así como también con el contenido de carbono orgánico total, carbono hidrosoluble y las propiedades físicas y químicas del suelo. La actividad de la proteasa mostró el coeficiente de correlación más alto con el carbono de la biomasa microbiana. La actividad de la fosfomonoesterasa ácida presentó el mayor coeficiente con respecto a la respiración basal, y la fosfomonoesterasa alcalina con la actividad de la deshidrogenasa y la amonificación de la arginina. El coeficiente de correlación entre la actividad de la  $\alpha$ -glucosidasa y el porcentaje de C orgánico total resultó ser el más alto respecto al de todas las hidrolasas. Las correlaciones positivas y significativas entre la actividad enzimática y la actividad biológica con el carbono orgánico total sugieren la existencia de una importante relación entre la actividad microbiológica y el contenido de materia orgánica de los suelos.

**Palabras clave:** Carbono orgánico del suelo, Biomasa microbiana, Cociente metabólico, Cociente de eficiencia metabólica, Carbono hidrosoluble.

### 1 INTRODUCCIÓN

En el suelo, que puede ser considerado como una entidad biológica, con complejas reacciones bioquímicas, las enzimas juegan un papel importante desde el punto de vista ecológico, al catalizar innumerables reacciones. Las enzimas del suelo pueden originarse de las plantas, animales, hongos, actinomicetos y bacterias, aunque se acepta que generalmente el componente microbiano es la principal fuente de las enzimas en el suelo.



Dick (1997) destaca que las enzimas del suelo actúan como mediadores y catalizadores de importantes funciones que incluyen: la descomposición de residuos orgánicos, la transformación de la materia orgánica nativa del suelo, la liberación de nutrientes inorgánicos para el crecimiento de las plantas, el ciclaje de nutrientes, la fijación de N<sub>2</sub>, la desintoxicación de xenobióticos y los procesos de nitrificación y desnitrificación.

Se ha señalado que las actividades de las enzimas tienen la capacidad de reflejar diferencias con respecto a las prácticas de manejo agrícola (Dick, 1997; Gianfreda y Bollag, 1996), debido probablemente a que ellas están relacionadas con la biomasa microbiana, la cual es sensible a esos tratamientos (Nannipieri, 1994; Beyer et al, 1999; Borie et al, 1999). Además, la determinación de la actividad enzimática del suelo ha sido utilizada para estudiar los efectos antropogénicos de los metales pesados y otros contaminantes orgánicos e inorgánicos (Nannipieri, 1994). Por otra parte, como las propiedades físicas y químicas del suelo influyen de manera importante sobre la actividad y cantidad de microorganismos y las concentraciones de sustratos, también juegan un papel significativo en la actividad de las enzimas.

Por todas las razones señaladas, las actividades enzimáticas han sido usadas como indicadores de los cambios en la calidad y fertilidad del suelo, teniendo en cuenta que la calidad del suelo está relacionada con su funcionalidad, su capacidad para proveer los servicios esenciales del ecosistema y la salud del suelo. Los suelos saludables son importantes para el crecimiento de los cultivos, la cría de animales sanos, y apoyar a una población humana sana a través de dietas nutricionalmente equilibradas y hábitats ambientalmente saludables (Lal, 2020).

El estudio de las relaciones entre las distintas actividades enzimáticas y los parámetros microbiológicos facilita la determinación de índices de calidad del suelo que han demostrado ser útiles en el monitoreo de la degradación o contaminación del suelo (Trasar-Cepeda et al., 1998; Ruiz-Dager y Paolini, 2022).

En este trabajo se han estudiado las relaciones entre las actividades de las enzimas, los parámetros microbiológicos y las propiedades físicas y químicas, en suelos lacustres y aluviales de Venezuela, bajo diferentes usos.

## **2 MATERIALES Y MÉTODOS**

La zona en la cual se llevó a cabo esta investigación está situada en la región centro norte de Venezuela, en la planicie de la Cuenca del Lago de Valencia, la cual está delimitada aproximadamente por los meridianos de longitud oeste 67° 10' – 68° 10', y por los paralelos de latitud norte 10° 00' – 10° 20'. El clima de la cuenca es tropical húmedo. En esta zona se presenta una marcada biestacionalidad climática, caracterizada por un período de bajas precipitaciones (enero, febrero y marzo), y otro de altas precipitaciones



(junio, julio, y agosto), que varían entre 900 mm y 1150 mm, con un promedio anual de 1000 mm. La temperatura media anual es 24,6 oC.

Se escogieron diez suelos, cinco de ellos de origen lacustre y cinco de origen aluvial (Cuadro 1). Se incluyeron dos suelos bajo vegetación natural o nativa, uno lacustre (LVN) y otro aluvial (AVN), los cuales no han sido cultivados ni regados, por lo que se consideraron como suelo control en cada caso. Los suelos restantes se encuentran bajo cultivo de caña de azúcar o de banano y son regados con agua de distinto origen o composición. Los suelos lacustres clasifican todos como MOLLIC USTIFLUVENTS, francosa, carbonática, mixta, isohipertérmica, y los aluviales como FLUVENTIC USTROPEPTS, francosa gruesa mixta isohipertérmica, a excepción del suelo AB2 que clasifica como FLUVENTIC HAPLUSTOLLS (Elizalde et al., 2007).

Cuadro 1. Características de los suelos estudiados

Origen del Suelo	Uso del suelo	Siglas	Tipo de agua de riego
Lacustre	Vegetación nativa	LVN	Ninguna
	Caña de azúcar	LC1	Lago de Valencia (no tratada)
		LC2	Pozo profundo
		LC3	Residual no tratada
Banano	LB1	Embalse Taigüaigüay (tratada)	
Aluvial	Vegetación nativa	AVN	Ninguna
	Caña de azúcar	AC1	Río Aragua (Residual no tratada)
		AC2	Embalse Zuata (tratada)
	Banano	AB1	Embalse Zuata (tratada)
		AB2	Río Turmero (Residual no tratada)

En los suelos control la vegetación natural o nativa está conformada por árboles de gran altura y abundantes arbustos. En cuanto a los sitios cultivados, cabe señalar que de los suelos de origen lacustre, tres de ellos se encontraban sembrados con caña de azúcar por trece años; mientras que el otro había permanecido bajo banano por veinte años. Entre los suelos cultivados de origen aluvial, dos de ellos contaban con cuarenta y tres años sembrados con caña de azúcar, y los otros dos tenían seis años cultivados con banano (anteriormente se cultivó maíz en estos suelos, por más de diez años). Todos los suelos cultivados habían sido sometidos a manejo convencional, con uso de fertilizantes químicos y plaguicidas. Adicionalmente, los suelos bajo banano recibían gallinaza como abono orgánico. En el manejo de la caña de azúcar siempre se ha practicado la quema previa a la cosecha.

Las muestras de suelo se tomaron a una profundidad de 0-5 cm. Para cada tipo de uso de la tierra se colectaron submuestras de igual volumen en 20 puntos diferentes del área a considerar en un patrón en zig-



zag y las mismas se mezclaron para obtener tres muestras compuestas. Las muestras compuestas se dividieron en dos porciones. Una de las porciones se secó al aire, se desmenuzó y se tamizó a 2 mm para ser utilizadas en las determinaciones de pH, carbono orgánico (Corg), carbono hidrosoluble (CHS), N, P disponible y cationes extraíbles. La otra porción se conservó con la humedad de campo, se tamizó a 2 mm y se guardó en bolsas de polietileno bajo refrigeración a 4 °C para su posterior análisis de la respiración basal o actividad microbiana, el carbono de la biomasa microbiana y las actividades de las enzimas en un lapso no mayor de dos semanas (Ruiz y Paolini, 2004).

El pH fue determinado en una suspensión suelo:agua 1:2,5; la conductividad eléctrica en una suspensión suelo:agua 1:1. El Nitrógeno total (N) fue determinado por el método de Kjeldhal, y el Fósforo disponible utilizando el método de Olsen y Sommers (1982). La determinación de Ca, K, Na y Mg se llevó a cabo por Espectrofotometría de Absorción Atómica, a partir del extracto de suelo obtenido con solución extractora Carolina del Norte (Page, 1982). El carbono orgánico total (Corg) se determinó mediante la oxidación húmeda del carbono orgánico por una mezcla de dicromato de potasio y ácido sulfúrico y la posterior determinación espectrofotométrica de los iones  $Cr^{+3}$  producidos, de acuerdo al método descrito por Heanes (1984) y Paolini (2018). El carbono hidrosoluble (CHS) fue extraído mediante la agitación de las muestras de suelo con agua en tubos de centrifuga, con una relación suelo/agua de 1:10 durante 1 hora. Después de centrifugarlas por 15 minutos, a 3.500 revoluciones por minuto, se procedió a pasar el sobrenadante por un filtro Millipore de 0,45  $\mu m$ . El carbono orgánico se midió por combustión con oxidación catalítica en un analizador de carbono marca Shimadzu 5000A.

Para la cuantificación de la respiración basal (RB) se siguió el procedimiento descrito por Paolini (2018). El carbono de la biomasa microbiana (Cmic), se determinó según el método de respiración inducida por sustrato (Ruiz y Paolini, 2004). Una vez determinados los 2 parámetros señalados anteriormente, se calcularon los siguientes coeficientes ecofisiológicos: cociente metabólico ( $qCO_2 = RB/Cmic$ ) y coeficiente de eficiencia metabólica ( $qCO_2/Corg$ ).

Las determinaciones de actividades enzimáticas se llevaron a cabo de acuerdo con los métodos estándares descritos por García et al. (2002), Alef y Nannipieri (1995) y Tabatabai (1994). La actividad de la deshidrogenasa (DH) se determinó por la reducción del cloruro de trifeniltetrazolio a trifenilformazan después de incubar el suelo por 24 h a 37 °C. La desaminación o amonificación de la arginina (ARG) se determinó midiendo el amonio liberado tras incubar el suelo con arginina como sustrato por 3 h a 25 °C. La determinación de la actividad de la fosfomonoesterasa ácida (FAC), fosfomonoesterasa alcalina (FAL) y  $\beta$ -glucosidasa (GLU) se basaron en la determinación del p-nitrofenol liberado (p-NF) después de incubar el suelo por 1 h a 37 °C con los sustratos tamponados a los respectivos pHs: p-nitrofenolfosfato y p-nitrofenil- $\beta$ -D-glucopiranosido. La actividad de la ureasa (UR) se estimó por el amonio liberado después de incubar el suelo con urea como sustrato por 2 horas a 37 °C. La actividad de la proteasa (PROT) se determinó por



la medición de la tirosina liberada con el reactivo Folin-Ciocalteu después de la incubación del suelo por 2 h a 50 °C con caseína como sustrato a pH 8,1. Los resultados se expresaron en base al peso seco del suelo. El contenido de humedad se estimó a partir de la diferencia de peso que experimentaron las muestras después de ser sometidas a calentamiento a 105 oC por 24 horas.

El análisis estadístico de los datos se efectuó con el programa STATISTIX para Windows versión 8.0, 2003. Todos los supuestos y pruebas se validaron con un nivel de significancia del 95%.

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados correspondientes al contenido de carbono orgánico total, carbono hidrosoluble, pH, parámetros microbiológicos (respiración basal y carbono de la biomasa microbiana), coeficientes ecofisiológicos:  $q_{Mic}$  ( $C_{mic}/C_{org}$ ), cociente metabólico ( $q_{CO_2}$ ) y coeficiente de eficiencia metabólica ( $q_{CO_2}/C_{org}$ ), y actividades enzimáticas (deshidrogenasa,  $\beta$ -glucosidasa, amonificación de la arginina, ureasa, proteasa, fosfomonoesterasa ácida y fosfomonoesterasa alcalina) han sido reportados en publicaciones anteriores (Ruiz-Dager y Paolini, 2021 y 2022).

En el cuadro 2 se presentan los contenidos de algunos elementos en los suelos estudiados, la capacidad de intercambio catiónico (CIC), la relación C/N así como el fósforo y los cationes extraíbles.

Cuadro 2. Nitrógeno, Fósforo disponible y cationes extraíbles con solución Carolina del Norte de los suelos estudiados.

Suelo	N	C/N	CIC	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Sodio
	(g kg <sup>-1</sup> )		(cmol kg <sup>-1</sup> )	(mg kg <sup>-1</sup> )				
LVN	6,6	12,4	29,58	332	1040	10016	992	1368
LC1	2,0	8,7	13,40	114	155	4968	264	384
LC2	1,9	9,2	12,70	113	189	6240	282	144
LC3	2,4	13,7	29,40	64	234	2722	203	472
LB1	4,7	11,4	28,88	658	85	6024	840	136
AVN	3,2	14,7	36,54	367	263	2904	496	53
AC1	1,6	12,3	17,05	137	140	2336	185	94
AC2	1,9	10,8	18,44	129	26	2857	206	143
AB1	1,8	5,1	16,88	33	24	2328	117	214
AB2	1,4	9,0	19,31	125	27	2599	172	163

N = nitrógeno Total; C/N = relación C/N; CIC = capacidad de intercambio catiónico.

A partir de los resultados obtenidos en las distintas determinaciones realizadas en los suelos estudiados, se establecieron correlaciones lineales simples entre los parámetros evaluados.

#### 3.1 CORRELACIONES ENTRE ACTIVIDADES ENZIMÁTICAS Y PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS.

En el cuadro 3 se presenta la matriz de correlaciones de los parámetros biológicos y las actividades enzimáticas estudiadas (solo se muestran las estadísticamente significativas). En cuanto a las



propiedades microbiológicas, se apreció una correlación significativa y positiva entre la RB y el Cmic, la ARG, y la DH. El uso de cada una de estas variables ha sido sugerido individualmente como un indicador de actividad biológica (Frankenberger y Dick, 1983; Alef y Kleiner, 1986; 1987; Lin y Brookes, 1999).

Cuadro 3. Coeficientes de correlación entre las actividades enzimáticas y las propiedades biológicas.

	GLU	DH	FAC	FAL	PROT	UR	Cmic	RB
ARG	0,85**	0,75*	0,82**	0,86**	0,85**	0,69*	0,95***	0,92***
GLU		0,90***	0,91***	0,94***	0,88***	0,79**	0,77*	0,88***
DH			0,83*	0,96***	0,83**	0,79**	0,73*	0,71*
FAC				0,93***	0,92***	0,79**	0,83**	0,94***
FAL					0,90***	0,80**	0,84**	0,85**
PROT						0,93***	0,89***	0,92***
UR							0,76*	0,76*
Cmic								0,90***

\*, \*\*, \*\*\*, Significativos a los niveles de probabilidad de 0,05; 0,01 y 0,0001, respectivamente. Cmic = carbono de la biomasa microbiana. RB = respiración basal. DH, ARG, FAC, FAL, GLU, UR y PROT corresponden a las actividades enzimáticas deshidrogenasa, desaminación de la arginina, fosfomonoesterasa ácida, fosfomonoesterasa alcalina,  $\beta$ -glucosidasa, ureasa y proteasa respectivamente.

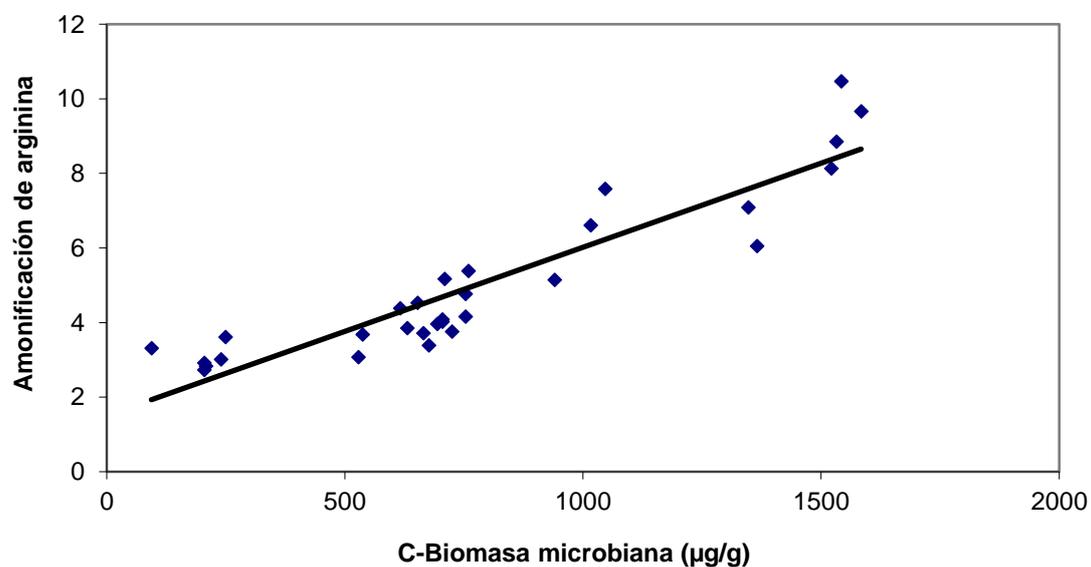
Los resultados de estas correlaciones podrían confirmar este hecho para los suelos estudiados y se corresponden con los hallazgos de Franzluebbers et al. (1995), quienes encontraron que los parámetros microbiológicos (RB, Cmic) y ARG correlacionaron significativamente unos con otros, y que por lo tanto parecen reflejar adecuadamente la biomasa y la actividad microbiológica potencial bajo condiciones de laboratorio.

En suelos cultivados con caña de azúcar en Brasil también se encontró una correlación estadísticamente significativa entre la respiración basal y el Cmic ( $r = 0,80$ ) (Duarte et al., 2008), al igual que en regiones de clima subtropical de China, en las que se ha producido la conversión de bosques de vegetación nativa a plantaciones de especies de árboles de interés comercial (Wang et al., 2013), así como en suelos bajo trigo o maíz ubicados en el norte de ese país (Hu y Cao. 2007). De manera similar, en la región semiárida pampeana central de Argentina, se observó que la RB se asoció en un 73% ( $p < 0,0001$ ) con el Cmic, lo que dio como resultado una regresión lineal positiva entre ambas variables (Fernández et al., 2018). Un resultado semejante se encontró en suelos de clima semiárido de España (Bastida et al., 2006b).

La relación Cmic/Corg, que también ha sido propuesta como indicador de actividad biológica, no correlacionó significativamente con la RB, ni con el Cmic; tampoco lo hizo con la DH ni con la ARG.

Los coeficientes de correlación de las ecuaciones de regresión que relacionan la ARG con la RB y con el Cmic son bastante altos (Cuadro 3, Figura 1). Esta tendencia es similar a la encontrada por Alef y Kleiner (1986; 1987), y Suttner y Alef (1988) en distintos suelos de Alemania; y por Lin y Brookes (1999) en suelos del Reino Unido. Tal como lo señalan Suttner y Alef (1988), esas correlaciones altamente significativas demuestran que la ARG puede ser usada como un indicador o como una medida útil de la biomasa y la actividad microbiana en diferentes suelos.

Figura 1. Correlación entre la amonificación de arginina y el carbono de la biomasa microbiana en los suelos estudiados.



Los coeficientes de correlación entre la DH y la RB, o el Cmic, son menores y de un nivel de significación más bajo que los encontrados para la correlación entre la ARG y los parámetros microbiológicos mencionados. En otros estudios se ha observado una alta correlación entre la DH y Cmic (Goyal et al., 1993; Chander et al., 1998; Zamora et al., 2005).

Los parámetros de la actividad microbiológica (RB, Cmic), la ARG y la DH están correlacionados positiva y significativamente con las actividades de las hidrolasas ( $\alpha$ -glucosidasa, ureasa, proteasa, fosfomonoesterasa ácida y alcalina) determinadas en este estudio (Cuadro 3), lo cual pone de manifiesto la estrecha relación de estas actividades enzimáticas con la actividad microbiana de los suelos. Sin embargo, solo se encontró una correlación negativa y significativa entre Cmic/Corg y la GLU ( $r = -0,45$ ;  $p < 0,05$ ), con el resto de las hidrolasas no hubo correlación. La PROT mostró el coeficiente de correlación más alto con el Cmic, mientras que la FAC presentó el mayor coeficiente con respecto a la RB, y la FAL con la DH



y la ARG. En relación a la fosfomonoesterasa, los resultados concuerdan con los de Chander et al. (1998), quienes también encontraron una alta correlación entre Cmic y la FAL ( $r = 0,99$ ;  $n = 4$ ) en un Inceptisol de la India, al igual que Hu y Cao (2007) en suelos cultivados con cereales en el norte de China. Con respecto a UR, hay similitud con la relación hallada entre el Cmic y la actividad de esta enzima por Wang et al. (2013) y Hu y Cao (2007) en suelos de China.

La alta correlación encontrada entre la actividad de la FAC y la RB, apoya los planteamientos de otras investigaciones (Frankenberger y Dick, 1983; Jordan et al., 1995), según los cuales, se ha sugerido a la actividad de la FAC como un indicador apropiado de la actividad microbiana relativa del suelo. Los resultados también están de acuerdo con los encontrados en suelos argentinos, en los que las actividades de la FAC, la GLU, PROT y UR correlacionaron positiva y significativamente con la RB y la DH (Jiménez et al, 2002); en suelos forestales chilenos que mostraron correlaciones positivas y significativas entre el Cmic y las actividades de FAC y la GLU (Alvear et al., 2008) y en suelos de clima semiárido de España en los que el Cmic correlacionó positiva y significativamente con las actividades de la UR, PROT, FAL, DH y GLU (Bastida et al., 2006b).

La correlación positiva y significativa que se observa entre la ARG y la PROT refleja la estrecha relación que hay entre la hidrólisis de las proteínas y la amonificación de aminoácidos en el suelo, lo que sugiere la posibilidad de usar la ARG como una medida de la intensidad de la mineralización microbiana del nitrógeno en el medio edáfico (Alef et al., 1988, Franzluebbbers, et al., 1995).

En el Cuadro 3 se puede apreciar la existencia de una correlación significativa y positiva entre las actividades de las diferentes hidrolasas, aun cuando cada enzima actúa sobre un sustrato específico y en una reacción distinta. Posiblemente la estrecha relación entre las actividades de las enzimas y la actividad microbiológica de los suelos, ya indicada, conduce a esta correlación entre las actividades enzimáticas. Resultados similares han sido hallados por Frankenberger y Dick (1983), Suttner y Alef (1988), Jiménez et al. (2002), Hinojosa et al. (2004), Aponte et al. (2011) y Pajares et al. (2011). En este último estudio, realizado en suelos de un transecto altitudinal en el eje neovolcánico mexicano, se encontraron altas correlaciones positivas entre las actividades totales de las enzimas UR, PROT, GLU y FAC, lo que sugiere un equilibrio entre los principales ciclos de nutrientes, de acuerdo a lo expresado por los autores.

Como parte de la presente investigación, en una publicación anterior (Ruiz-Dager y Paolini, 2022) se reportó que, a partir de las determinaciones de las actividades de la deshidrogenasa, amonificación de la arginina, fosfomonoesterasa ácida, fosfomonoesterasa alcalina,  $\beta$ -glucosidasa, ureasa y proteasa, fue posible calcular tres índices de calidad de suelos: índice de alteración 3, media geométrica enzimática y área de diagramas radar, los cuales demostraron que el uso agrícola causa una perturbación del balance natural, siendo el orden: vegetación natural > caña de azúcar > banano. El índice de alteración (IA3) y la media geométrica enzimática (MGe) correlacionaron significativamente con el cociente de eficiencia metabólica.



Los gráficos de radar para cada tipo de suelo (lacustrino y aluvial) bajo los dos tipos de uso de la tierra (caña de azúcar y banano) confirmaron lo encontrado por los otros índices. Los suelos sembrados con ambos cultivos mostraron una menor calidad en comparación con los suelos de referencia bajo vegetación nativa.

### 3.2 CORRELACIONES DE LOS PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS Y ACTIVIDADES ENZIMÁTICAS CON LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO.

Las propiedades físicas y químicas del suelo tienen una apreciable influencia sobre la cantidad de microorganismos, las concentraciones de sustratos, enzimas, metabolitos y nutrientes inorgánicos en el suelo, y en consecuencia sobre las actividades microbiológicas (Stotzky y Burns, 1982). Por esa razón se investigaron los efectos de algunas propiedades físicas y químicas del suelo sobre los parámetros de la actividad microbiológica y la actividad enzimática en la zona elegida. En el Cuadro 4 aparecen los coeficientes de correlación entre los parámetros de la actividad microbiana y las propiedades físicas y químicas.

Cuadro 4. Coeficientes de correlación entre las propiedades microbiológicas y las propiedades físicas y químicas del suelo

	C <sub>org</sub>	ARD	DH	Cmic	RB	CHS	qMic	qCO <sub>2</sub>	qCO <sub>2</sub> /C <sub>org</sub>
pH	-0,59***	-0,75****	-0,66***	-0,68****	-0,56**	-0,65****	ns	ns	0,44*
CE	0,75****	0,74****	0,72****	0,64***	0,79****	0,58***	ns	ns	ns
N	0,97****	0,76****	0,81****	0,68****	0,87****	0,88****	ns	0,45*	-0,50**
C <sub>org</sub>	1	0,86****	0,86****	0,79***	0,92****	0,93****	-0,45*	ns	-0,62*
CHS	0,93****	0,74****	0,86***	0,65***	0,75***	1	-0,55**	ns	-0,55**
C/N	0,61***	0,71****	0,59**	0,77****	0,57***	0,59***	ns	ns	-0,82***
CIC	0,76****	0,72***	0,52*	0,67***	0,67****	0,82****	-0,41*	ns	-0,47***
K	0,82****	0,84****	0,82****	0,76****	0,86****	0,70****	ns	ns	-0,44*
Ca	0,72****	0,52**	0,75****	0,51**	0,71****	0,61***	ns	ns	-0,39*
Mg	0,94****	0,66***	0,83****	0,59***	0,79****	0,89****	-0,59***	0,45*	-0,52**
Na	0,69****	0,75****	0,59**	0,68****	0,82****	0,48**	-0,53**	ns	ns
Pdisp	0,70****	0,33 ns	0,56**	0,28 ns	0,44*	0,74****	-0,66****	0,39*	-0,45*

\*, \*\*, \*\*\*, \*\*\*\* Significativos a los niveles de probabilidad de 0,05, 0,01, 0,001, 0,0001 respectivamente; ns = no significativo.

Como puede observarse, con casi todos los parámetros estas correlaciones resultaron significativas. Solamente en el caso del fósforo disponible no se encontró correlación significativa con la ARG ni con el Cmic. Todas las correlaciones además son positivas, excepto las que se establecieron con el pH, lo que coincide con los datos encontrados por Frankenberger y Dick (1983) y por Suttner y Alef, (1988), que hallaron correlaciones significativas entre la ARG y el N total ( $r = 0,881$ ;  $p < 0,01$ ), y la ARG con la CIC ( $r = 0,848$ ;  $p < 0,01$ ); pero no con el pH. También confirman los resultados observados en suelos del Cerrado de Brasil, en los que la actividad de la DH correlacionó significativa y positivamente con el contenido de fósforo disponible (Pdisp) y los contenidos de Ca y Mg intercambiables (Baligar et al., 1999).

Las correlaciones positivas y significativas entre los parámetros de la actividad biológica y el Corg o el CHS (Cuadro 4) confirman la existencia de una estrecha relación entre la actividad microbiológica y el



contenido de la materia orgánica del suelo. Estos resultados concuerdan con los observados para suelos de Alemania por Alef y Kleiner (1986, 1987), quienes encontraron una correlación positiva y significativa entre la ARG y el Corg ( $r = 0,78$ ), y por Suttner y Alef (1988), para esa misma relación ( $r = 0,81$ ;  $p < 0,01$ ); al igual que Lin y Brookes (1999) en suelos del Reino Unido ( $r = 0,85$ ;  $n = 12$ ).

En investigaciones llevadas a cabo en España, Trasar-Cepeda et al. (1998) observaron correlaciones significativas ( $p < 0,001$ ) del Cmic con el Corg ( $r = 0,88$ ) y el N total ( $r = 0,87$ ) en áreas bajo vegetación natural de Galicia, mientras que en suelos de clima semiárido, el Corg y el CHS correlacionaron positivamente y además, ambos parámetros correlacionaron positiva y significativamente con la RB y el Cmic (Bastida et al. (2006b). Estas mismas correlaciones han sido encontradas en agroecosistemas de banano ubicados en áreas tropicales de China (Zhong et al., 2015) y en suelos australianos cultivados con caña de azúcar y pasto ( $r = 0,83$ ;  $p < 0,05$ ) (Stirling et al., 2010).

Dominy et al. (2002) evidenciaron la existencia de una correlación lineal entre el contenido de Corg y el Cmic ( $r = 0,75$ ;  $p < 0,01$ ), en zonas de Suráfrica sembradas con caña de azúcar. En Venezuela también se han encontrado correlaciones positivas y significativas entre el Cmic y el Corg en suelos del estado Falcón bajo monocultivo de tomate, en rotación de cultivo de tomate y cebolla (Zamora et al., 2005), en áreas de bosque secundario y suelos sembrados con melón o sábila (Mogollón et al., 2010).

En relación a la actividad de DH, se observaron altos coeficientes de correlación con el Corg, el CHS y con el N (Cuadro 4), resultado que coincide con el obtenido por Navas et al. (2009) en suelos de España sometidos a diferentes usos. Con respecto a estos hallazgos, cabe señalar que la actividad de la deshidrogenasa tiene un papel fundamental en las etapas iniciales de la oxidación de la materia orgánica (Ross, 1971), razón por la cual se ha considerado como un indicador de la actividad microbiológica del suelo (Casida et al., 1964).

En el Cuadro 4 además puede apreciarse que el qMic correlacionó significativamente y en forma negativa con el Corg, el CHS, la CIC, el Pdisp, el Mg y el N.

En este estudio no se encontró ninguna relación entre el qCO<sub>2</sub> y el Corg, el CHS o el Cmic, pero si se obtuvo una correlación negativa y significativa ( $r = -0,69$ ;  $p < 0,0001$ ) entre el qCO<sub>2</sub> y el qMic. La misma relación fue encontrada por Saviozzi et al. (1999) en suelos agrícolas italianos, por Martín-Lammerding et al. (2015) en áreas semiáridas de España y por Paolini (2018) en suelos cafetaleros venezolanos e indica que mientras más pequeña es la biomasa microbiana en el suelo, más activa es la población de los microorganismos. Además, se observó una correlación positiva y significativa entre el qCO<sub>2</sub> y la RB ( $r = 0,40$ ;  $p < 0,05$ ), lo cual no ocurrió con los otros parámetros de la actividad microbiológica y coincide con los hallazgos de Paolini (2018). Por otra parte, qCO<sub>2</sub> no correlacionó con las actividades de las hidrolasas, solamente con la PROT ( $r = 0,4126$ ;  $p < 0,05$ ). En cuanto a los parámetros fisicoquímicos, se encontró correlación ( $p < 0,05$ ) del qCO<sub>2</sub> con el Pdisp, Mg y N (Cuadro 4).



A diferencia del  $qCO_2$ , el cociente  $qCO_2/Corg$  presentó una correlación negativa y significativa con el Corg ( $r = -0,62$ ;  $p < 0,001$ ), con el CHS ( $r = -0,55$ ;  $p < 0,01$ ) y con el Cmic ( $r = -0,76$ ;  $p = 0,0000$ ), pero no correlacionó con el  $qMic$ . Estos resultados concuerdan en su totalidad con los observados por Paolini (2018) en suelos de los Andes venezolanos, pero contrastan con los hallazgos de Martín-Lammerding et al. (2015), en cuyo estudio, los valores más altos de  $qMic$  correlacionaron con los más bajos de  $qCO_2/Corg$ .

Se observaron correlaciones significativas de las actividades de todas las enzimas con las propiedades físicas y químicas de los suelos estudiados (Cuadro 5). Los coeficientes de correlación más altos se presentaron con el contenido de Corg, el CHS y con el N. Diversos estudios convergen en la misma orientación: a tal efecto, Frankenberger y Dick, (1983) muestran la existencia de correlaciones significativas entre las actividades de la FAL, FAC y UR con el Corg, N total y CIC en suelos de California (USA).

Cuadro 5. Coeficientes de correlación entre las actividades enzimáticas y las propiedades físicas y químicas del suelo.

	GLU	FAC	FAL	PROT	UR
pH	-0,61***	-0,49**	-0,67****	-0,57***	-0,47**
CE	0,82****	0,83****	0,82****	0,65****	0,40*
Corg	0,97****	0,90****	0,90****	0,88****	0,86****
CHS	0,89****	0,78****	0,84****	0,85****	0,89****
N	0,95****	0,90****	0,86****	0,85****	0,79****
C/N	0,57**	0,47**	0,61**	0,69****	0,70****
CIC	0,66****	0,53**	0,56**	0,74****	0,81****
K	0,89****	0,88****	0,90****	0,77****	0,54**
Ca	0,77****	0,89****	0,80****	0,67****	0,54**
Mg	0,92****	0,87****	0,84****	0,82****	0,82****
Na	0,74****	0,81****	0,74****	0,65****	0,35 ns
P disp	0,63***	0,52**	0,50**	0,59***	0,78****

\*, \*\*, \*\*\*, \*\*\*\* Significativos a los niveles de probabilidad de 0,05, 0,01, 0,001, 0,0001 respectivamente, ns = no significativa

Otras investigaciones señalan que la actividad de la fosfomonoesterasa ácida, fosfomonoesterasa alcalina,  $\alpha$ -glucosidasa, proteasa y ureasa han correlacionado positiva y significativamente con el Corg, el CHS y el N total en suelos de España (Trasar-Cepeda et al., 1998; Bastida et al., 2006b; Navas et al., 2009); Argentina (Jiménez et al, 2002); México (Pajares et al., 2011); China (Zhong et al., 2015; Zhang et al., 2016); Turquía (Kizilkaya y Dengiz, 2010) y Venezuela (Mogollón et al., 2010). En ecosistemas semiáridos venezolanos se ha encontrado una alta correlación entre las actividades enzimáticas y los niveles de materia orgánica del suelo, lo que demuestra la importancia del carbono orgánico en esos ecosistemas (Aponte et al., 2011).

En el cuadro 5 puede observarse asimismo que el coeficiente de correlación entre la actividad de la GLU y el Corg es el más alto respecto al de todas las hidrolasas, lo que evidencia la relación de esta enzima con el ciclo del carbono. De acuerdo a Turner et al., (2002), la correlación positiva entre la actividad de la  $\alpha$ -glucosidasa y el carbono orgánico es lógica porque esta enzima es sintetizada por los microorganismos del suelo en respuesta a la presencia de sustratos disponibles. La correlación positiva y



significativa que mostró la actividad de esta enzima con los contenidos de Ca y Mg también se observó en suelos de Costa de Rica bajo diferentes cultivos, incluidos caña de azúcar y banano (Henríquez et al., 2014).

#### 4 CONCLUSIONES

Se constató la relación existente entre las actividades enzimáticas estudiadas y otros parámetros edáficos relacionados con la actividad, la biomasa microbiana y la materia orgánica, a través de las correlaciones positivas y significativas encontradas entre las actividades enzimáticas y el carbono orgánico total, la respiración basal, el carbono de la biomasa microbiana y las propiedades físicas y químicas de los suelos. El coeficiente de correlación entre la actividad de la  $\alpha$ -glucosidasa y el contenido de C orgánico total resultó ser el más alto respecto al de todas las hidrolasas. Las correlaciones positivas y significativas entre los parámetros de la actividad biológica y la actividad enzimática con el carbono orgánico total sugieren la existencia de una importante relación entre la actividad microbiológica y el contenido de materia orgánica del suelo



## REFERENCIAS

- Alef, K. and D. Kleiner. 1986. Arginine ammonification, a simple method to estimate microbial activity potentials in soils. *Soil Biol, Biochem.* 18:233-235. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(86\)90033-7](https://doi.org/10.1016/0038-0717(86)90033-7)
- Alef, K. and D. Kleiner. 1987. Applicability of arginine ammonification as an indicator of microbial activity in different soils. *Biol, Fertil, Soils.* 5(2):148-151. <https://doi.org/10.1007/bf00257650>
- Alef, K., T.H. Beck, L. Zelles and D. Kleiner. 1988. A comparison of methods to estimate microbial biomass and N<sub>2</sub> mineralization in agricultural and grassland soils. *Soil Biol Biochem.* 20(4):561-565. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(88\)90073-9](https://doi.org/10.1016/0038-0717(88)90073-9)
- Alvear M., M. Astorga y F. Reyes. 2008. Efecto de los residuos vegetales provenientes de dos tratamientos silvícolas en una plantación de *Pinus radiata* d. don sobre los cambios estacionales de las actividades biológicas del suelo. *J. Soil Sc. Plant Nutr.* 8 (1) (14-27).
- Aponte, H., J. Paolini, J. Mogollón. 2011. Efecto del cují asociado al cultivo de sábila sobre las propiedades bioquímicas de un suelo del semiárido falconiano. *Agron. Trop. (Maracay)* 61(1): 5-13.
- Baligar, V. C., R. J. Wright, N. K. Fageria, V.E. Pitta. 1999. Enzyme activities in Cerrado soils of Brazil. *Commun. Soil sci. Plant anal.*, 30(9-10), 1551-1560. <http://dx.doi.org/10.1080/00103629909370306>.
- Bastida, F., J.L. Moreno, T. Hernández and C. García. 2006a. Microbiological activity in a soil 15 years after its revegetation. *Soil Biol. Biochem.* 38(8): 2503-2507. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.02.022>
- Bastida, F., J.L. Moreno, T. Hernández and C. García. 2006b. Microbiological degradation index of soils in a semiarid climate. *Soil Biol. Biochem.* 38: 3463-3473. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.06.001>
- Beyer, L.; K. Sieling; K. Pingpank. 1999. The impact of a low humus level in arable soils on microbial properties, soil organic matter quality and crop yield. *Biol Fertil Soils* 28:156-161.
- Borie, G.; S. Aguilera; P. Peirano. 1999. Actividad biológica en suelos. *Frontera Agrícola (Chile)* 5(1-2):29-32.
- Casanova, E. 2005. Introducción a la ciencia del suelo. 2ª Edic. CDCH-UCV. 379 pp.
- Casida, L.E. Jr., D.A. Klein and T. Santoro. 1964. Soil dehydrogenase activity. *Soil Sci.* 98(6): 371-376. <https://doi.org/10.1097/00010694-196412000-00004>
- Chander, K., S. Goyal, D.P. Nandal and K.K. Kapoor. 1998. Soil organic matter, microbial biomass and enzyme activities in a tropical agroforestry system. *Biol. Fertil. Soils.* 27(2):168-172. <https://doi.org/10.1007/s003740050416>
- Dominy, C. S, R. J. Haynes and R. Van Antwerpen. 2002. Loss of soil organic matter and related soil properties under long-term sugarcane production on two contrasting soils. *Biol. Fertil. Soils*, 36(5): 350-356. <https://doi.org/10.1007/s00374-002-0538-5>
- Doran, J.W. and T.B. Parkin. 1994. Defining and assessing soil quality. Pp. 3-21. In: J. Doran, D.C. Coleman, D.F. Bezdicek, and B.A. Stewart (Eds.). *Defining soil quality for a sustainable environment*, SSSA, Spec, Pub No, 35, Madison.



- Doran, J. W., M. Safley. 1997. Defining and assessing soil health and sustainable productivity. Pp. 1–28. In: Pankhurst, C. E., Doube, B. M. & Gupta, V. V. S. R. (eds.) *Biological Indicators of Soil Health*. CAB International, Wallingford.
- Elizalde, G., Vilorio, J., & A. Rosales. (2007). Geografía de suelos de Venezuela. En *GeoVenezuela*, Volumen 2. Medio físico y recursos ambientales (pp. 433-435). Caracas, Venezuela: Fundación Empresas Polar.
- Fernández R., I. Frasier, M. Rorig, A. Quiroga, E. Noellemeyer. 2018. Evaluación de indicadores biológicos en suelos de la región semiárida pampeana central. *Ecología Austral*, 28(1): 145-156. <https://doi.org/10.25260/ea.18.28.1.0.555>
- Frankenberger, W.T., and W.A. Dick. 1983. Relationships between enzyme activities and microbial growth and activity indices in soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47(5): 945–951. <https://doi.org/10.2136/sssaj1983.03615995004700050021x>
- Franzluebbers, A.J., D.A. Zuberer and F.M. Hons. 1995. Comparison of microbiological methods for evaluating quality and fertility of soil *Biol. Fertil. Soils*, 19(2&3):135-140. <https://doi.org/10.1007/bf00336149>
- Gianfreda, L.; J.M. Bollag. 1996. Influence of natural and anthropogenic factor on enzyme activity. En: Stizky, G.; J.M. Bollag (Eds.). *Soil Biochemistry*. Vol 9. New York. Marcel Dekker, Inc. p. 123-193.
- Goyal, S., M.M. Mishra, S.S. Dhankar, K.K. Kapoor and R. Batra. 1993. Microbial biomass turnover and enzyme activities following the application of farmyard manure to field soils with and without previous long-term applications. *Biol, Fertil*,
- Heanes, D.L. 1984. Determination of total organic-C in soils by an improved chromic acid digestion and spectrophotometric procedure. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 15(10): 1191-1213. doi: 10.1080/00103628409367551
- Henríquez C., L. Uribe, A. Valenciano, R. Nogales. 2014. Actividad enzimática del suelo -Deshidrogenasa, β-glucosidasa, Fosfa tasa y Ureasa- bajo diferentes cultivos. *Agronomía Costarricense* 38(1): 43-54.
- Hinojosa, M.B., R. García-Ruíz, B. Viñeola, J.A. Carreira. 2004. Microbiological rates and enzyme activities as indicators of functionality in soils affected by the Aznalcóllar toxic spill. *Soil Biol. Biochem.* 36:1637–1644. <https://doi:10.1016/j.soilbio.2004.07.006>.
- Hu, C and Z. Cao. 2007. Size and activity of the soil microbial biomass and soil enzyme activity in long-term field experiments. *World J. Agric. Sci.*, 3 (1): 63-70.
- Jackson, M.L. 1964. *Análisis Químico de Suelos*. Ed. Barcelona. 662 p.
- Jiménez, M., A.M. De la Horra, L. Pruzzo and R.M. Palma. 2002. Soil quality: a new index based on microbial and biochemical parameters. *Biol. Fertil. Soils* 35(4):302-306. <https://doi.org/10.1007/s00374-002-0450-z>
- Jordan, D., R.J. Kremer, W.A. Bergfield, K.Y. Kim and V.N. Cacio. 1995. Evaluation of microbial methods as potential indicators of soil quality in historical agricultural fields. *Biol. Fertil. Soils* 19(4): 297-302. <https://doi.org/10.1007/bf00336098>



- Kizilkaya, R. and O. Dengiz. 2010. Variation of land use and land cover effects on some soils physico-chemical characteristic and soil enzyme activity. *Zemdirsbyste-Agriculture* 97 (2): 15-24.
- Lal R. (2020 b). Soil organic matter content and crop yield. *Journal of Soil and Water Conservation*, 75(2):27A-32A. doi:10.2489/jswc.75.2.27A
- Lagomarsino, A., M.C. Moscatelli, A. Di Tizio, R. Mancinelli, S. Grego and S. Marinari. 2009. Soil biochemical indicators as a tool to assess the short-term impact of agricultural management on changes in organic C in a Mediterranean environment. *Ecol. Ind.* 9(3):518-527. doi: 10.1016/j.ecolind.2008.07.003
- Lin, Q. and P.C. Brookes. 1999. Arginine ammonification as a method to estimate soil microbial biomass and microbial community structure. *Soil Biol. Biochem.* 31(14): 1985-1997. [https://doi.org/10.1016/s0038-0717\(99\)00121-2](https://doi.org/10.1016/s0038-0717(99)00121-2)
- Marinari, S., R. Mancinelli, E. Campiglia and S. Grego. 2006. Chemical and biological indicators of soil quality in organic and conventional farming systems in Central Italy. *Ecol. Ind.* 6(4): 701-711. doi: 10.1016/j.ecolind.2005.08.029.
- Mogollón J., D. Torres, A. Martínez. 2010. Cambios en algunas propiedades biológicas del suelo según el uso de la tierra en el sector el Cebollal, estado Falcón, Venezuela. *Bioagro*, 22(3): 217-222.
- Moscatelli, M.C., A. Lagomarsino, S. Marinari, P. De Angelis, S. Grego (2005) Soil microbial índices as bioindicators of environmental changes in a poplar plantation. *Ecological Indicators* 5: 171-179. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2005.03.002>
- Nannipieri, P. 1994. The potential use of soil enzymes as indicators of productivity, sustainability and pollution. In: Pankhurst, C.E.; B.M. Doube; V.V.S.R. Gupta; GRACE P.R (Eds.). *Soil biota : Management in Sustainable Farming Systems*. Australia. CSIRO. p. 238-244.
- Navas M., M. Benito y A. Masaguer. 2009. Evaluación de parámetros bioquímicos en un Calcaric Skeletic Cambisol bajo diferentes usos de suelo. *Agron. Trop. (Maracay)* 59(2): 219-225.
- Olsen, S. and L. Sommers. 1982. Phosphorous. In: A.L. Page. (Ed.). *Methods of soil analysis. Part 2*. Madison. WI. USA. ASA-SSSA. 1159 p.
- Pajares S., J. F. Gallardo, G. Masciandaro, B. Ceccanti And J. D. Etchevers. 2011. Enzyme activity as an indicator of soil quality changes in degraded cultivated acrisols in the mexican trans-volcanic belt. *Land Degrad. Develop.* 22(3): 373–381. <https://doi.org/10.1002/ldr.992>
- Page, A.L. (Ed.). 1982. *Methods of Soil Analysis Part. 2. Chemical and Microbiological Properties*. Second Edition. American Society of Agronomy INC. Soil Science Society of America, Inc. Publisher. Wisconsin. USA. 1159 P.
- Paolini, J. 2018. Actividad microbiológica y biomasa microbiana en suelos cafetaleros de los Andes venezolanos. *Terra Latinoamericana* 36: 13-22. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i1.257>.
- Ross, D.J. 1971. Some factors influencing the estimates of dehydrogenase activities of some soils under pasture. *Soil Biol. Biochem.* 3(2): 97-110. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(71\)90002-2](https://doi.org/10.1016/0038-0717(71)90002-2)
- Ruiz, M. y J. Paolini. 2004. Efecto del cultivo y el agua de riego sobre el carbono de la biomasa microbiana. *Agronomía Tropical (Maracay)* 54(2): 161-178.



- Ruiz-Dager, M. y Paolini, J. (2021). Indicadores biológicos de suelos lacustres y aluviales de Venezuela bajo diferentes usos. Parte 1. Actividad microbiana y coeficientes ecofisiológicos. *Terra Latinoamericana*, 39, 1-11. e922. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.922>
- Ruiz-Dager, M. y Paolini, J. (2022). Indicadores biológicos de suelos lacustres y aluviales de Venezuela bajo diferentes usos. Parte 2. Evaluación de la calidad de suelos. *Terra Latinoamericana*, 40, 1-11. e967. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.967>
- Saviozzi, A., A. Biasci. R. Riffaldi and R. Levi-Minzi. 1999. Long-term effects of farmyard manure and sewage sludge on some soil biochemical characteristics. *Biol. Fert. Soils* 30(1):100-106. <https://doi.org/10.1007/s003740050594>
- Silva, R. R., M. L. Silva, E. L. Cardoso, F. M. Moreira, N. Curi y A. M. Alovisei. 2010. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica campos das vertentes – MG. *R. Bras. Ci. Solo* 34:1585-1592.
- Stirling G.R., P.W. Moody, A.M. Stirling. 2010. The impact of an improved sugarcane farming system on chemical, biochemical and biological properties associated with soil health. *Applied Soil Ecology* 46: 470–477 doi:10.1016/j.apsoil.2010.08.015
- Stotzky, G. and R.G. Burns. 1982. The soil environment: clay-humus-microbe interactions. Pp. 105-133. In: R.G. Burns and J.H. Slayter (Eds.). *Experimental microbial ecology*. Oxford.
- Suttner, T and K. Alef. 1988. Correlation between the arginine ammonification, enzyme activities, microbial biomass, physical and chemical properties of different soils. *Zentralbl. Mikrobiol.* 143(8): 569-573. [https://doi.org/10.1016/s0232-4393\(88\)80077-5](https://doi.org/10.1016/s0232-4393(88)80077-5)
- Tabatabai, M.A. 1982. Soil enzymes. Pp. 903-945. In: A.L. Page and R.H. Miller (Eds). *Methods of Soil Analysis. Part. 2. Chemical and Microbiological Properties. Agronomy Monograph no. 9* (2nd edition). ASA-SSSA. Madison.
- Tabatabai, M.A. and J.M. Bremner. 1969. Use of p-nitrophenylphosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biol. Biochem.* 1: 301-307. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(69\)90012-1](https://doi.org/10.1016/0038-0717(69)90012-1)
- Trasar-Cepeda, C., M. C. Leirós, F. Gil-Sotres and S. Seoane, 1998. Towards a biochemical quality index for soils: An expression relating several biological and biochemical properties. *Biol. Fert. Soils* 26(2):100–106. <https://doi.org/10.1007/s003740050350>
- Turner, B.L., Hopkins, D.W., Haygarth, P.M., Ostle, N., 2002.  $\beta$ -glucosidase activity in pasture soils. *Appl. Soil Ecol.* 20(2), 157–162. [https://doi.org/10.1016/s0929-1393\(02\)00020-3](https://doi.org/10.1016/s0929-1393(02)00020-3)
- Wang, Q., F. Xiao, T. He, S. Wang. 2013. Responses of labile soil organic carbon and enzyme activity in mineral soils to forest conversion in the subtropics. *Ann. Forest Sci.* 70 (6): 579-587. <https://doi.org/10.1007/s13595-013-0294-8>
- Zamora F., J. Mogollón y N. Rodríguez. 2005. Cambios en la biomasa microbiana y la actividad enzimática inducidos por la rotación de cultivos en un suelo bajo producción de hortalizas en el estado Falcón, Venezuela. *Multiciencias*, 5(1): 62-70.
- Zhang J., B. Guodong, Z. Zhang, F. Kong, Y. Wang and G. Shen. 2016. Effects of straw incorporation on soil nutrients, enzymes, and aggregate stability in tobacco fields of China. *Sustainability* 8(8) : 710-722. <https://doi.org/10.3390/su8080710>



Zhong S., H. C. Zeng and, Z. Q. Jin. 2015. Soil microbiological and biochemical properties as affected by different long-term banana-based rotations in the tropics. *Pedosphere* 25(6): 868–877.