

## 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

Frank Zamora<sup>1</sup>, José Pastor Mogollón<sup>2</sup> y Nectali Rodríguez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Falcón. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. Coro, estado Falcón.

<sup>2</sup>Departamento. de Ambiente y Tecnología Agrícola; <sup>3</sup>Departamento. de Producción y Desarrollo Agrícola. E-mail: fzamora@inia.gov.ve

### Resumen

El presente trabajo se realizó en el municipio Federación, estado Falcón, el cual es una de las principales zonas productoras de hortalizas de piso bajo. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de diferentes sistemas de rotación de cultivos, sobre los parámetros biológicos y bioquímicos del suelo, con el fin de establecer indicadores de calidad de éste recurso. Se tomaron muestras a dos profundidades, de 0-10 cm y de 10-20 cm, en dos sistemas diferentes de rotación de cultivos, uno que incluye un ciclo de tomate alternado con cebolla (T-C-T) y otro sistema donde se realiza el monocultivo de tomate (T-T-T). Las variables biológicas y bioquímicas estudiadas fueron el carbono de la biomasa microbiana del suelo (C-BM), y la actividad de la fosfatasa alcalina y la deshidrogenasa. Los resultados obtenidos indican que el suelo donde se implementó el sistema de rotación de cultivos (T-C-T) presentó mayores niveles de C-BM en la capa superficial, aproximadamente un 40% mayor en comparación al sistema T-T-T. En este parámetro no se observaron diferencias significativas en la profundidad de 10-20 cm, con un valor promedio de  $246 \mu\text{g C g}^{-1}$  suelo. La actividad deshidrogenásica presentó la misma tendencia que el C-BM, presentando valores promedio de  $80 \mu\text{g de TFF (trifenilformazan) g}^{-1}$  suelo  $24\text{h}^{-1}$  en el sistema T-C-T, mientras que en el sistema T-T-T se midieron valores en promedio de  $36 \mu\text{g TFF g}^{-1}$  suelo  $24\text{h}^{-1}$ . Esto resultó en una reducción significativa ( $p < 0,05$ ) en el sistema de monocultivo de tomate, en aproximadamente un 45%, en comparación al sistema donde se incluye la cebolla como parte de la rotación. La fosfatasa alcalina no mostró ningún poder discriminatorio en los sistemas de rotación de cultivos evaluados.

**Palabras clave:** Biomasa microbiana; fosfatasa; deshidrogenasa; rotación de cultivos; indicadores de calidad del suelo.

# Microbial Biomass and Enzyme Activity Changes Induced by Crop Rotations in a Soil Under Vegetables Production At the Falcon State, Venezuela

## Abstract

This study was carried out in "Federación" Municipality, Falcon State, which is one of the main productive areas of vegetables crops. The objective of this research was to evaluate the effect of different systems of crop rotations on the biological and biochemical parameters of soil, for the purpose of establishing soil quality indicators. The soil samples were obtained from two depth increment, 0-10, and 10-20 cm, in two different systems of crop rotations: a rotation system that includes alternate cycles of tomato with onion (T-O-T) and another system where tomato monoculture (T-T-T) is carried out. The soil biological and biochemical parameters studied were the microbial carbon biomass (MBC), the alkaline phosphatase activity and dehydrogenase activity. The results indicate that the soil where the system of crop rotations was implemented (T-O-T) presented higher levels of MBC in the upper layer, approximately 40% higher in comparison to the T-T-T system. Significant differences were not observed at the depth of 10-20 cm, with an average value of  $246 \mu\text{g C g}^{-1}$  soil. The dehydrogenase activity presented the same tendency as that of MBC, with values average of  $80 \mu\text{g triphenylformazan g}^{-1}$  soil  $24 \text{ h}^{-1}$  in T-O-T system, while in the T-T-T system, values were measured on the average at  $36 \mu\text{g triphenylformazan g}^{-1}$  soil  $24 \text{ h}^{-1}$ . This was a significant reduction ( $p < 0.05$ ) in the system of tomato monoculture, in approximately 45%, in comparison with the system where onion cultivation was included as part of the rotation. The alkaline phosphatase did not show any discriminatory power in the evaluated crop rotation systems.

**Key words:** Microbial biomass; phosphatase; dehydrogenase; crop rotation; soil quality indicators.

## Introducción

La explotación de rubros hortícolas de piso bajo se desarrolla en Venezuela principalmente en zonas áridas y semiáridas, las que representan un 4,7% del territorio nacional y ocupan una superficie de  $41.023 \text{ km}^2$ , ubicadas principalmente en los estados Falcón, Lara, Zulia, Anzoátegui, Sucre y Nueva Esparta [5].

Actualmente, en el municipio Federación se alcanzan los mayores rendimientos en cultivos hortícolas en la geografía falconiana, estando estos por encima de los promedios nacionales. Esta situación ha provocado una alta presión de uso de los recursos naturales, fundamentalmente por la utilización indiscriminada y excesiva de fertilizantes y agroquími-

cos, lo cual ha generado una alta resistencia de insectos plagas y el desequilibrio del ecosistema en general [39].

Las zonas áridas y semiáridas se caracterizan por poseer suelos muy susceptibles de degradación y una alta variabilidad climática, fundamentalmente precipitaciones escasas y de alta intensidad, corta duración y erráticas, una alta evaporación, cobertura vegetal esparcida, elevadas temperaturas, lo cual hace que el desarrollo de un sistema de producción sostenible sea difícil de alcanzar bajo estas condiciones [24, 35]. Sin embargo, hay que reconocer que estas áreas presentan un alto potencial para incrementar la productividad, siempre y cuando se haga un manejo apropiado de estas tierras para lograr sistemas agrícolas sostenibles [32].

La identificación de indicadores que permitan monitorear o predecir la degradación del recurso suelo resulta fundamental, ya que los grandes problemas agroecológicos pueden ser traducidos en base a criterios que pueden ser medidos. En este sentido, se plantea que las características más dinámicas del suelo, tales como la biomasa microbiana y la actividad enzimática responden más rápidamente a los cambios en las prácticas de manejo o condiciones ambientales, que otras características como la materia orgánica total del suelo [9, 14].

Las actividades enzimáticas pueden mejorar nuestro conocimiento sobre el efecto de los cambios en los sistemas de manejo y la aplicación de pesticidas, enmiendas orgánicas y otros compuestos sobre la calidad de los suelos [17, 18]. Todo ello demuestra el interés que pueden tener las actividades enzimáticas desde un punto de vista agronómico y ecológico. La importancia de la determinación del carbono en la biomasa microbiana se debe al papel principal de los microorganismos del suelo en la retención y liberación de nutrientes y energía del sistema [29]. Este parámetro ha sido empleado como bioindicador de los cambios en la materia orgánica del suelo, por representar un índice más sensible que el carbono orgánico total, debido a que en este último existe un elevado porcentaje de fracciones muy estables, las cuales pueden llegar a enmascarar las alteraciones de aquellas fracciones más susceptibles de cambio [30]. En el país es escasa la información acerca del estudio de la actividad enzimática y la biomasa microbiana en suelos agrícolas, por lo que se plantea la realización de esta experiencia, a fin de evaluar el efecto de los sistemas de rotación de hortalizas de piso bajo sobre la biomasa microbiana del suelo y las enzimas deshidrogenasa y fosfatasa alcalina. Esto permitirá evaluar el potencial de estos parámetros biológicos como indicadores de la calidad del suelo.

## Materiales y Métodos

### Descripción del Área Experimental

El área de estudio esta ubicada en la microcuenca de Barrio Nuevo, parroquia El Paují, municipio Federación, estado Falcón. Geográficamente se sitúa entre las coordenadas 10° 43' 17" hasta 10° 47' 27" LN, y entre 69° 34' 07" hasta 69° 41' 42" LO, a unos 15 km al suroeste de la población de Churuguara, capital del Municipio en referencia. Abarca una superficie aproximada de 1500 ha, de las cuales el 25% están siendo explotadas actualmente con rubros hortícolas, principalmente tomate, pimentón y cebolla.

La vegetación de la zona es típica de regiones semiáridas, predominando especies xerofíticas de la zona de bosque espinoso tropical, destacándose especies como los cardones (*Lemaireocereus griseus*), cujies (*Prosopis juliflora*), tunas (*Opuntia spp*), dividive (*Capparis odoratissima*), yabo (*Cercidium praecox*) y buche (*Cactus caesins*). La precipitación media es de 750 mm/año, distribuida en dos picos bien marcados, el primero entre mayo y julio, y el segundo de septiembre a noviembre, siendo este último donde se concentran las máximas precipitaciones. El suelo donde se encuentran los sistemas agrícolas estudiados se clasifica como Aridic ustifluent fina, mixta, isohipertérmico, con drenaje interno moderado, externo rápido y permeabilidad moderada [25].

### Sistemas de Producción Evaluados

Dentro del área de estudio se definieron dos sectores conocidos como Corraleja y Chigüire, los cuales se diferenciaron fundamentalmente por el manejo en los sistemas de producción de hortalizas. A continuación se describen las principales características de manejo de cada uno de los sistemas de producción:

*Sector Corraleja:* el sistema de producción que predomina en este sector es el tomate, alternando ciclos de siembra con el cultivo de cebolla (Tomate-Cebolla-Tomate), con una superficie promedio de siembra de 1 ha para el tomate y 0,5 ha para la cebolla, y rendimientos promedio de 35.000 Kg.ha<sup>-1</sup> y 32.000 Kg.ha<sup>-1</sup> respectivamente.

*Sector Chigüire:* en este sector predomina un sistema de monocultivo basado en la producción de Tomate con hasta tres ciclos al año (Tomate-Tomate-Tomate), siendo este sistema al igual que el anterior manejado por pequeños productores, con una superficie promedio de siembra de 1 ha y un rendimiento promedio de 25.000 Kg.ha<sup>-1</sup>.

### Muestreo de Suelos

En los dos sectores estudiados se procedió a ubicar una parcela experimental de 2500 m<sup>2</sup>, en las cuales se tomaron tres muestras compuestas a dos profundidades, de 0-10 cm y de 10-20 cm. El muestreo se realizó en febrero del 2002, durante una época seca. Las muestras fueron divididas en dos porciones, una fue secada al aire hasta sequedad constante y pasada por un tamiz de 2 mm, para posteriormente realizar los diferentes análisis físicos y químicos del suelo. La otra porción fue igualmente tamizada por un tamiz de 2 mm, almacenada a humedad de campo a una temperatura aproximada de 4°C, hasta que se procedió a la estimación de los parámetros biológicos y bioquímicos del suelo.

### Caracterización física y química de los suelos estudiados

El carbono orgánico total fue determinado por el método de Walkley-Black, el pH del suelo por el método potenciométrico en una suspensión suelo/agua de 1:2, y la conductividad eléctrica por medio del conductímetro, en igual relación suelo/agua. El análisis textural fue realizado por el método de Bouyoucos [7].

### Determinación de las propiedades biológicas y bioquímicas de los suelos

#### *Determinación de la actividad deshidrogenásica en el suelo*

La actividad de la enzima deshidrogenasa se determinó de acuerdo al método de Casida *et al.* [3], el cual se basa en la determinación colorimétrica del trifenilformazan (TFF) liberado cuando una muestra de suelo es incubada con cloruro de trifenil tetrazolio (TTC) por 24 horas a una temperatura de 37°C. La determinación se hace por espectrofotometría visible a una longitud de onda de 485 nm.

#### *Determinación de la actividad de la fosfatasa alcalina en el suelo*

La actividad de la fosfatasa alcalina se determinó de acuerdo al método propuesto por Tabatabai [36], el cual se basa en la determinación colorimétrica del p-nitrofenol liberado cuando se incuba una muestra de suelo con p-nitrofenil-fosfato (pNF) por 1 hora a una temperatura de 37°C. La determinación se hace por espectrofotometría visible a una longitud de onda de 420 nm.

#### *Carbono en la biomasa microbiana (C-BM)*

Se determinó el carbono en la biomasa microbiana del suelo, mediante un procedimiento de irradiación de muestras de suelo con microondas según lo propuesto por Islam y Weil [20] y una posterior extracción del carbono liberado con K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5 M, y medición por titulación con sulfato ferroso amoniacal según lo propuesto por Vance *et al.* [37].

### Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza y comparación de medias por el método de Tukey entre los dos sistemas de producción evaluados, para cada uno de los parámetros estudiados. Se hizo un análisis de regresión lineal para estudiar el grado de asociación entre las variables estudiadas. Se usó el paquete estadístico Statistic, versión 6.

### Resultados y Discusión

En la Tabla 1 se observan los resultados de la caracterización físico-química de los suelos bajo los dos sistemas de rotación de cultivos evaluados. La densidad aparente del suelo (Da), la cual constituye un parámetro bien importante, capaz de indicar en cierta forma los riesgos de compactación que existen en el suelo, fue siempre mayor ( $p < 0,05$ ) en el horizonte subsuperficial (10-20 cm), y especialmente en el sistema de monocultivo de tomate (T-T), lo cual puede estar relacionado a una mayor presión de uso sobre el recurso suelo. Es importante mencionar, que a pesar de que los suelos del sistema T-T presentan un mayor contenido de arena, presentan mayores valores de la Da, lo cual de alguna manera viene a corroborar lo indicado anteriormente.

El pH de los suelos estudiados demuestra que se trata de suelos que tienden a una ligera alcalinidad, lo cual es cónsono con las condiciones agroecológicas donde se realizó el trabajo. Al tratarse de una zona semiárida, es muy probable que exista un lavado limitado de las bases cambiables del suelo, lo cual se refleja en valores de pH relativamente altos. Sin embargo, no se trata de suelos con problemas severos de salinidad, ya que los valores de la conductividad eléctrica (CE) indican que en los dos casos estudiados, los suelos tienen pocas sales solubles acumuladas.

El carbono orgánico total del suelo (COT) siempre resultó ser mayor ( $p < 0,05$ ) en el primer horizonte del suelo

TABLA 1. Características físicas y químicas de los suelos bajo los dos sistemas de manejo evaluados. Los valores corresponden al promedio de las tres muestras; entre paréntesis se indica la desviación estándar. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

Manejo	Profundidad (cm)	Da (Mg/m <sup>3</sup> )	%A	%L	%a	CE (dS/m)	pH (agua 1:2)	C.O (%)
T-C-T	0-10	1,45 (0,01) c	3 (1,03) a	50 (0,55) a	47 (0,79) b	0,31 (0,02) a	8,17 (0,06) a	1,48 (0,03) a
	10-20	1,49 (0,02) b	3 (0,81) a	49 (1,02) a	48 (1,53) b	0,28 (0,03) a	7,93 (0,12) b	1,20 (0,05) b
T-T-T	0-10	1,49 (0,01) b	3 (0,32) a	44 (0,40) b	53 (0,66) a	0,34 (0,01) a	8,03 (0,06) ab	1,40 (0,02) a
	10-20	1,54 (0,02) a	3 (0,32) a	45 (1,01) b	53 (1,51) a	0,38 (0,08) a	8,03 (0,06) ab	0,83 (0,05) b

(0-10 cm), observándose una disminución marcada en el estrato subsuperficial (10-20 cm), particularmente en el sistema de monocultivo de tomate, lo cual pudiese indicar un agotamiento progresivo de los niveles de materia orgánica del suelo (MOS) en este sistema más intensivo de producción. A pesar de que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los dos sistemas de manejo evaluados, bien podrían existir ciertos indicios que reflejen la disminución de la MOS en un sistema más intensivo tal como es el caso del sector Chigüire (T-T-T). Se ha indicado que las prácticas de monocultivo pueden tener un efecto adverso sobre los niveles de la MOS [1, 4, 19]. Concentraciones muy bajas de COT en suelos bajo monocultivos, pueden estar relacionadas a un efecto de dilución del suelo superficial con el suelo subsuperficial, aunado a un aumento en la tasa de oxidación de la MOS [1].

Los cambios observados en las concentraciones del COT, inducidos por los sistemas de rotación evaluados, reflejan cambios en las cantidades absolutas de materia orgánica en cada uno de los horizontes evaluados, si se considera que la Da del suelo (relación masa/volumen) se vio significativamente afectada por el sistema de cultivo (Tabla 1).

En la Figura 1 se muestran los resultados obtenidos en la evaluación de los parámetros biológicos y bioquímicos del suelo. Las variables bioquímicas se refieren a la actividad de la enzima deshidrogenasa y la enzima fosfatasa alcalina (Figura 1a y 1b, respectivamente); y la variable biológica estudiada fue el carbono contenido en la biomasa microbiana del suelo (Figura 1c).

### Fosfatasa Alcalina

La fosfatasa (llamada también fosfomonoesterasa), es una enzima que participa en la mineralización del P orgánico, y su mecanismo de acción es básicamente extracelular, es decir, una vez generada por los microorganismos o raíces de las plantas, puede ser estabilizada en la materia orgánica del suelo, o en las partículas coloidales inorgánicas y liberada gradualmente cuando exista poca disponibilidad de iones fosfatos en el suelo [22].

La actividad de la fosfatasa alcalina obtenida en la evaluación de estos sistemas no mostró ningún poder discriminatorio ni en la profundidad ni en los sistemas de rotación de cultivos (Figura 1a). Además resultó ser bastante baja en comparación con datos reportados por Dick [9] de  $110 \mu\text{g } p\text{-NF g}^{-1} \text{ suelo h}^{-1}$ ; Deng y Tabatabai [8] reportaron valores de  $180 \mu\text{g } p\text{-NF g}^{-1} \text{ suelo h}^{-1}$  y Contreras *et al.* [6] reportaron valores de  $120 \mu\text{g } p\text{-NF g}^{-1} \text{ suelo h}^{-1}$ .

Los valores bajos de la fosfatasa observados tanto en el sistema T-C-T y T-T-T podrían estar relacionados a una alta disponibilidad del fósforo ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) en los suelos de estos sistemas agrícolas, los cuales oscilan entre 43 y 55 ppm [38], considerando que los mecanismos enzimáticos, especialmente los de la fosfatasa, se ven inhibidos cuando existe una mayor disponibilidad de nutrientes en forma lábil en el suelo [27]. Las prácticas de fertilización, y sobre todo de fertilizantes fosfatados podrían a largo plazo suprimir la segregación de enzimas solubilizantes del fósforo orgánico.

### Enzima Deshidrogenasa

La deshidrogenasa es una enzima que realiza funciones intracelulares, por lo cual puede ser un parámetro indicador del grado de actividad de los microorganismos del suelo. Su actividad representa la transferencia de energía en la cadena respiratoria y el rango total de las actividades oxidativas [31]. Esta enzima es encontrada dentro de células vivas, y ya ha sido utilizada ampliamente como un indicador de la actividad biológica del suelo en ambientes áridos mediterráneos [16].

Los valores más altos de la actividad de la deshidrogenasa (Figura 1b) se observaron en el sistema T-C-T con valores promedio de  $80 \mu\text{g TFF g}^{-1} \text{ suelo } 24\text{h}^{-1}$ , mientras que para el sistema T-T-T se obtuvieron valores en promedio de  $36 \mu\text{g TFF g}^{-1} \text{ suelo } 24\text{h}^{-1}$ . Esto resultó en una reducción significativa ( $p < 0,05$ ) en el sistema de producción de monocultivo de tomate, en aproximadamente un 45%, en comparación al sistema donde se incluye la cebolla como parte de la rotación. La disminución de la actividad de la deshidrogenasa observada con respecto a la profundidad del suelo y especialmente en el sistema T-C-T, puede estar directamente relacionada a la disminución de la MOS con la profundidad, lo cual podría tener como consecuencia una disminución del número de microorganismos asociados [15].

Sin embargo, la disminución de la actividad enzimática en la capa superficial del suelo (0-10 cm) del sistema T-T-T en un 40% aproximadamente, en comparación al sistema T-C-T, a pesar de presentar valores similares de COT para esta profundidad (Tabla 1), hacen suponer la existencia de otros factores que gobiernan los mecanismos de acción de la actividad de la deshidrogenasa. En este sentido, se plantea la posibilidad de que la acumulación de compuestos xenobióticos (producto de la aplicación de pesticidas para combatir insectos y plagas), por tratarse de un sistema de monocultivo, podría estar ocasionando un efecto negativo sobre las comunidades microbianas del suelo, lo que a me-

TABLA 2. Coeficientes de correlación (r) para regresión lineal entre los parámetros biológicos y los parámetros físicos y químicos evaluados (n=12). Incluye los dos sistemas de rotación de cultivos evaluados.

Variables	C-BM	Da (Mg/ m <sup>3</sup> )	%A	%L	%a	pH	C.E. (dS m <sup>-1</sup> )	%C.O.
C-BM ( $\mu\text{g C g}^{-1}\text{suelo}$ )	–	-0,78**	-0,02 ns	0,55 ns	-0,47 ns	0,76**	-0,19 ns	0,70*
Deshidrogenasa ( $\mu\text{g TFF g}^{-1}\text{suelo } 24\text{h}^{-1}$ )	0,62*	-0,73**	0,29 ns	0,95***	-0,92***	0,23 ns	-0,60*	0,52 ns
Fosfatasa ( $\mu\text{g p-NF g}^{-1}\text{ h}^{-1}$ )	0,08 ns	-0,31 ns	0,42 ns	0,14 ns	-0,26 ns	0,25 ns	-0,09 ns	0,22 ns

\*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ ; ns: no significativo.

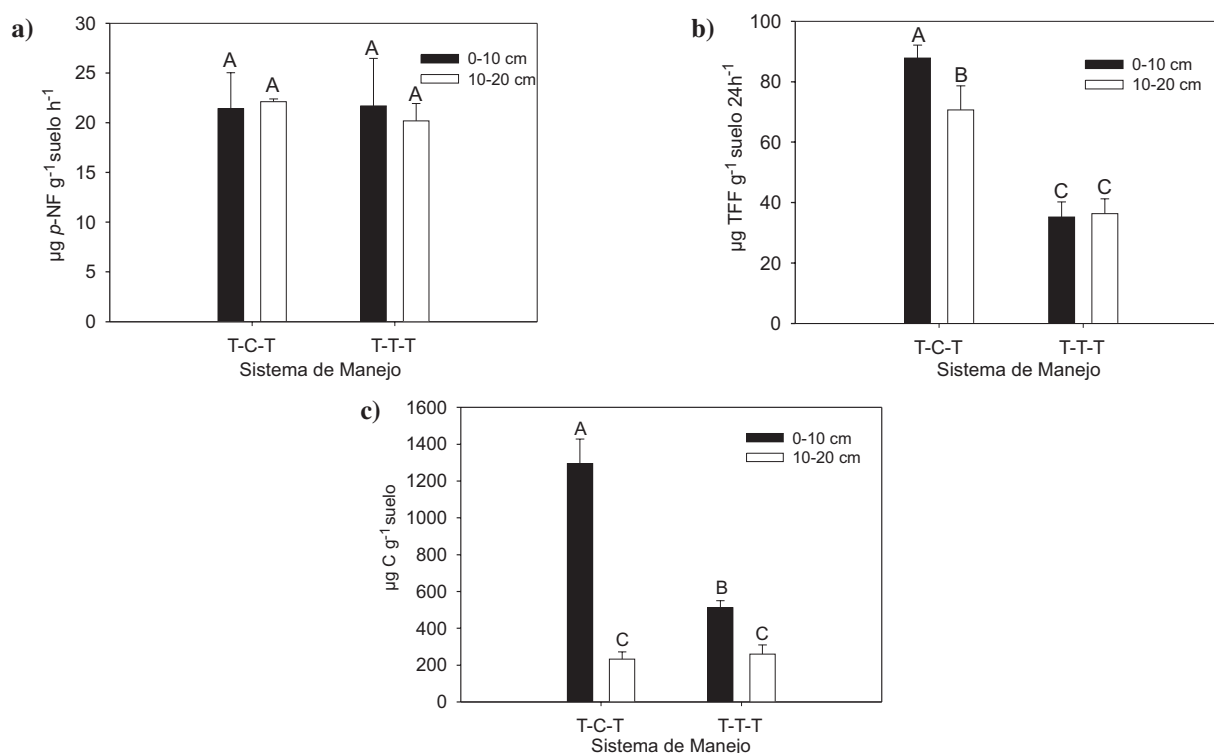


Figura 1. Efecto del sistema rotación de cultivos sobre: a) fosfatasa alcalina; b) deshidrogenasa; y c) carbono en la biomasa microbiana del suelo. T-C-T: Sistema de rotación tomate-cebolla-tomate; T-T-T: Monocultivo de tomate. Letras diferentes entre las barras indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ).

diano o largo plazo podría conllevar a una completa degradación biológica del suelo [11].

Existen muy pocos estudios que permitan comparar los niveles evaluados de esta enzima, pero en general se puede decir que los valores obtenidos son bastante similares a los indicados para un sistema agrícola de rotación de cultivos en un ambiente semiárido de la India, con 400 mm de lluvia/año, con valores cercanos a  $80 \mu\text{g TFF g}^{-1}\text{suelo } 24\text{h}^{-1}$  [4]. La actividad deshidrogenásica del suelo es capaz de predecir más acertadamente la actividad biológica en los suelos investigados, a diferencia de la fosfatasa alcalina.

#### Carbono en la biomasa microbiana del suelo (C-BM)

El carbono contenido en la biomasa microbiana del suelo (C-BM) ha sido utilizado como un indicador de cambios ocurridos en el ambiente edáfico producto de la aplicación de diferentes sistemas de rotación de cultivos [1, 2, 12, 21, 23, 26, 33]. Estos trabajos confluyen al indicar que C-BM resulta ser un indicador del impacto de sistemas de cultivo altamente intensivos sobre los niveles de materia orgánica del suelo, y mucho más importante aún, sobre la calidad de esta materia orgánica como sustrato.



El C-BM resultó ser más alto (Figura 1c) en la capa superficial del suelo (0-10 cm) y más baja en el estrato subsuperficial. La disminución del C-BM en la capa subsuperficial (10-20 cm) en comparación al estrato superficial, fue de un 80% y de un 50% en los sistemas T-C-T y T-T-T, respectivamente. Esto puede resultar lógico si se piensa que el origen del C-BM es la MOS, y ésta resultó ser mayor en el horizonte superficial (Tabla 1).

Otro efecto bastante importante es la disminución del C-BM en el sistema de monocultivo de tomate (T-T-T), ya señalado como el más intensivo en relación a la aplicación de insumos agrícolas, sobre todo de pesticidas. Esto podría ocasionar una disminución bastante drástica de los niveles de biomasa microbiana del suelo, acarreando graves problemas desde el punto de vista de la calidad del suelo, y del ciclaje de nutrientes. Además, es evidente estar en una situación de potencial degradación biológica del suelo, considerando que es uno de los sistemas “tradicionales” empleados en la zona de estudio [38].

Los valores de C-BM en la capa superficial del sistema T-C-T obtenidos en este trabajo son más altos que aquellos reportados para sistemas agrícolas en zonas semiáridas [34]. Sin embargo, para el suelo subsuperficial, así como el suelo superficial del sistema T-T-T, los datos estuvieron en el mismo rango ( $230\text{-}510\ \mu\text{g C g}^{-1}$  suelo) que los encontrados en suelos de zonas tropicales relativamente secas ( $290\text{-}450\ \mu\text{g C g}^{-1}$  suelo) [4, 33, 34]. Chander *et al.* [4] evaluaron el efecto de la rotación de cultivos sobre la biomasa microbiana del suelo, donde se incluía el cultivo de tomate como parte de la rotación, y reportaron valores de  $221\ \mu\text{g C g}^{-1}$  suelo.

Es importante señalar que el C-BM como parte de un todo representado por la materia orgánica del suelo (MOS), resulta ser mucho más dinámico en el corto plazo, y responde mucho más rápido a cambios en las prácticas de manejo agrícola que otras características comúnmente evaluadas como es el caso del carbono orgánico total [4, 13]. La rotación de cultivos, como parte del manejo agronómico de los sistemas de hortalizas, favoreció los niveles del carbono contenido en la biomasa microbiana del suelo. No así, sobre los niveles de la materia orgánica total, donde no se observaron cambios significativos entre los sistemas de producción evaluados. Esto confirma lo señalado por algunos autores, quienes indican que los cambios inducidos por los sistemas de cultivo sobre la materia orgánica del suelo, requieren de períodos largos de tiempo, mientras que la biomasa microbiana del suelo es un indicador más sensible a las prácticas agrícolas en el corto plazo

[13]. Además, debe considerarse que la biomasa microbiana es una fuente importante de nutrientes a los cultivos, dada su labilidad y pronta disponibilidad de nitrógeno, fósforo y azufre [23].

### Relación entre los parámetros biológicos y los parámetros físicos y químicos del suelo

En la Tabla 2 se observa una matriz de correlación que muestra la relación entre el carbono de la biomasa microbiana (C-BM), la actividad de la fosfatasa y la deshidrogenasa, con los parámetros físicos y químicos estudiados. El C-BM fue correlacionado significativamente ( $p < 0,01$ ) con la densidad aparente ( $D_a$ ) y con el pH del suelo. Además, tuvo una fuerte asociación al carbono orgánico total (COT) ( $p < 0,05$ ), lo cual supone la existencia de una estrecha relación entre estas dos variables. El efecto de los sistemas de rotación de cultivos, no se hace evidente sobre los niveles de MOS, pero sí sobre una fracción más activa y dinámica como el C-BM [28].

La deshidrogenasa mostró una correlación negativa y significativa con la  $D_a$  ( $p < 0,01$ ), con el porcentaje de arena (%a), y con la conductividad eléctrica del suelo ( $p < 0,05$ ). Además, se observó una asociación significativa y positiva con el C-BM ( $p < 0,05$ ), lo que puede explicarse en base al hecho de que la actividad de la deshidrogenasa es netamente intracelular, es decir, se lleva a cabo en las células vivas que forman parte de las comunidades microbianas del suelo. Esta enzima también se correlacionó positivamente ( $p < 0,001$ ) con el porcentaje de limo (%L) y esto podría ser una consecuencia de un mecanismo de inmovilización de las células microbianas en las partículas más pequeñas del suelo, como el limo y la arcilla (Tabla 1). La fosfatasa alcalina no presentó ninguna asociación a las otras variables estudiadas, lo que permite concluir que esta enzima no ofrece mucha información al momento de establecer indicadores que permitan evaluar la calidad del suelo, como producto de los cambios en los sistemas de manejo de los cultivos de hortalizas en la zona estudiada.

### Conclusiones

Los resultados del presente estudio sugieren que el sistema de rotación de cultivos mejora la calidad de la materia orgánica del suelo, lo cual se refleja en la biomasa microbiana y la actividad enzimática. Esto podría redundar en una mayor productividad de estos suelos a largo plazo.

El efecto de la rotación de cultivos sobre los parámetros biológicos en los sistemas agrícolas estudiados, fue más

pronunciado en el horizonte superficial y disminuyó significativamente con la profundidad del suelo.

El carbono contenido en la biomasa microbiana, así como la actividad de la enzima deshidrogenasa, resultaron ser buenos indicadores del efecto de los cambios en los sistemas de manejo sobre la calidad de los suelos investigados.

La actividad de la fosfatasa alcalina no aportó mucha información como un indicador al momento de evaluar la calidad del recurso suelo, como producto de los cambios en las prácticas agronómicas en la zona de estudio.

Los resultados obtenidos en el estudio permiten recomendar, en función de los parámetros estudiados, como mejor opción agronómica los sistemas que incluyan la rotación de cultivos, para de esta manera garantizar a largo plazo un uso eficiente del recurso suelo.

## Referencias Bibliográficas

- [1] ANGERS, D.A.; BISSONNETTE, N.; LEGERE, A.; SAMSON, N. (1993). Microbial and biochemical changes induced by rotation and tillage in a soil under barley production. **Can. J. Soil Sci.** 73:39-50.
- [2] BENDING, G.; PUTLAND, C.; RAYNS, F. (2000). Changes in microbial community metabolism and labile organic matter fractions as early indicators of the impact of management on soil biological quality. **Biol. Fertil. Soils.** 31:78-84.
- [3] CASIDA, L.E.; KLEIN, D.A.; SANTORO, T. (1964). Soil dehydrogenase activity. **Soil Sci.** 98:371-376.
- [4] CHANDER, K.; GOYAL, S.; MUNDRA, M.; KAPOOR, K. (1996). Organic matter, microbial biomass and enzyme activity of soils under different crop rotation in the tropics. **Biol. Fertil. Soils.** 22:306-310.
- [5] COMERMA, J.; ARIAS, L. (1974). Algunos aspectos del recurso tierra en zonas áridas y semiáridas de Venezuela. I seminario internacional sobre evaluación de tierra e las zonas áridas y semiáridas de América Latina. Roma. 230 pp.
- [6] CONTRERAS, F.; RIVERO, C.; PAOLINI, J. (1996). Efecto del uso de residuos orgánicos y dos tipos de labranza sobre la actividad de la fosfatasa ácida en un Alfisol. **Rev. Fac. Agron. (UCV).** 22:139-149.
- [7] DAY, P.R. (1965). Particle fractionation and particle-size analysis. In: Black, C.A. *et al* (ed). *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Properties.* ASA-SSSA. Madison, Wisconsin, USA. 545-567 pp.
- [8] DENG, S.P.; TABATABAI, M.A. (1997). Effect of tillage and residue management on enzyme activities in soils. III. Phosphatases and Arylsulfatase. **Biol. Fertil. Soils.** 24:141-146.
- [9] DICK, R.P. (1994). Soil enzyme activities as indicators of soil quality. In Doran *et al.* (eds.) *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment.* **Soil Sci. Soc. Am.** Special Publication, Madison, WI. 102-124 pp.
- [10] DICK, W.A. (1984). Influence of long-term tillage and crop rotation combinations on soil enzyme activities. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 48:569-574.
- [11] DUAH-YENTUMI, S.; JOHNSON, D.B. (1986). Changes in soil microflora in response to repeated applications of some pesticides. **Soil Biol. Biochem.** 18:629-635.
- [12] DUMONTET, S.; MAZZATURA, A.; CASUCCI, C.; PERUCCI, P. (2001). Effectiveness of microbial indexes in discriminating interactive effects of tillage and crop rotations in a Vertic Ustorthents. **Biol. Fertil. Soils.** 34:411-416.
- [13] EMMERLING, C.; UDELHOVEN, T.; SCHRÖDER, D. (2001). Response of soil microbial biomass and activity to agricultural de-intensification over a 10 year period. **Soil Biol. Biochem.** 33:2105-2114.
- [14] FAUCI, M.F.; R.P. DICK. (1994). Microbial biomass as an indicator of soil quality. In Doran *et al.* (eds.) *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment.* Soil Sci. Soc. Am. Special Publication, Madison, WI. pp. 229-234.
- [15] GARCÍA, C.; HERNANDEZ, T.; COSTA, F. (1997). Potential use of dehydrogenase activity as an index of microbial activity in degraded soils. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.** 1-2: 123-134.
- [16] GARCÍA, C.; HERNÁNDEZ, T.; COSTA, F. (1994). Microbial activity in soils under Mediterranean environmental conditions. **Soil Biol. Biochem.** 26:1185-1191.
- [17] GARCÍA, C.; HERNÁNDEZ, T.; COSTA, F. (1994). Biochemical parameters in soils regenerated by the addition of organic wastes. **Waste Manage. Res.** 12:457-466.
- [18] GIL-SOTRES, F.; TRASAR CEPEDA, M.C.; CIARDI, C.; CECCANTI, B. (1992). Biochemical characterisation of biological activity in very young mine soils. **Biol. Fertil. Soils.** 13:25-30.
- [19] HOLT, J.A.; MAYER, R. (1998). Changes in microbial biomass and protease activities of soil associated with long-term sugar cane monoculture. **Biol. Fertil. Soils.** 27:127-131.
- [20] ISLAM, K.R.; WEIL, R.R. (1998). Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biol. Fertil. Soils.** 27:408-416.
- [21] KANDELER, E.; TSCHERKO, D.; SPIEGEL, H. (1999). Long-term monitoring of microbial biomass, N mineralization and enzyme activities of a Chernozem under different tillage management. **Biol. Fertil. Soils.** 28:343-351.
- [22] KRÄMER, S.; GREEN, D. (2000). Acid and alkaline phosphatase dynamics and their relationships to soil microclimate in a semiarid woodland. **Soil Biol. Biochem.** 32:179-188.
- [23] LANDGRAF, D.; KLOSE, S. (2002). Mobile and readily available C and N fractions and their relationship to microbial biomass and selected enzyme activities in a sandy soil under different management systems. **J. Plant Nutr. Soil Sci.** 165:9-16.
- [24] MACHADO, D.; MEDINA, R.; NAVARRO, F. (1990). Evaluación del Uso de Tierras Agrícolas en el área bajo rie-



- go de la zona "El Cebollal", estado Falcón. (Tesis de Grado). UNEFM. Agronomía.
- [25] MIQUILENA, O. 1999. Caracterización agroecológica de sectores de producción hortícola en el municipio Federación, estado Falcón. Informe técnico (mimeografiado). FONAIAP E.E. Falcón. 10 pp.
- [26] MOORE, J.; KLOSE, S.; TABATABAI, M.A. (2000). Soil microbial biomass carbon and nitrogen as affected by cropping systems. **Biol. Fertil. Soils**. 31:200-210.
- [27] OLANDER, L.P.; VITOUSEK, P.M. (2000). Regulation of soil phosphatase and chitinase activity by N and P availability. **Biogeochemistry**. 49:175-190.
- [28] PAUL, E.A.; COLLINS, H.P.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E.T.; FREY, S.; JUMA, N.; JANZEN, H.; CAMPBELL, C.A.; ZENTNER, R.P.; LAFOND, G.P.; MOULIN, A.P. (2004). Management effects on the dynamics and storage rates of organic matter in long-term crop rotations. **Can. J. Soil Sci.** 84:49-61. *et al.*, 2004
- [29] PAUL, E.A.; VORONEY, R.A. (1989). Field interpretation of microbial biomass activity and measurements. En: M.J. Kleng and C.A. Reedy (eds). Current perspective in microbial ecology. American Society for Microbiology. Washington, D.C. USA.
- [30] POWLSON, D.S.; JENKINSON, D. (1981). A comparison of the organic matter, biomass, adenosine triphosphate and mineralizable nitrogen content of ploughed and direct drilled soils. **J. Agric. Sci.** 97:713-721.
- [31] QUILCHANO, C.; MARAÑÓN, T. (2002). Dehydrogenase activity in Mediterranean forest soils. **Biol. Fertil. Soils**. 35:102-107.
- [32] RODRÍGUEZ, N. (2002). Identificación de indicadores de sostenibilidad para los tipos de uso de la tierra en las series El Patillal y San Isidro de la Llanura de Coro, estado Falcón. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. Área Ciencias del Agro y del Mar, Programa de Ingeniería Agronómica.
- [33] SRIVASTAVA, S.C.; LAL, J.P. (1994). Effects of crop growth and soil treatments on microbial C, N and P in dry tropical arable land. **Biol. Fertil. Soils**. 17:108-114.
- [34] SRIVASTAVA, S.C. (1992). Microbial C, N and P in dry tropical soils: seasonal changes and influence of soil moisture. **Soil Biol. Biochem.** 24:711-714.
- [35] STEWAR, B. (1994). Dryland farming. Encyclopedia of Agricultural Science. 634 pp.
- [36] TABATABAI, M.A. (1982). Soil enzymes. En: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (eds). Methods of Soil Analysis. Part 2. A.S.A., S.S.S.A., Madison, Wisconsin, U.S.A. pp: 903-947.
- [37] VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D. (1987). An extraction method for measuring soil microbial biomass-C. **Soil Biol. Biochem.** 19:703-707.
- [38] ZAMORA, F. (2003). Identificación de indicadores de sostenibilidad en los sistemas de producción hortícola de Barrio Nuevo, municipio Federación, estado Falcón. (Trabajo Especial de Grado). Maestría en Sistemas de Producción Agrícola en Trópico Seco. UNEFM.
- [39] ZAMORA, F.; TUA, D. (2000). Insectos plaga en Churugara, municipio Federación, estado Falcón. **Fonaiap-Di-vulga.** 68:38.