

Efecto de los plaguicidas sobre la calidad química y biológica del suelo en sistemas de producción de hortalizas del semiárido venezolano.

José Pastor Mogollón¹, María Carolina Vera² Alicia Martínez³

1 Departamento de Ambiente y Tecnología Agrícola, UNEFM

2 Departamento de Ciencias Ambientales, UNEFM

3 Departamento de Química, IUTAG, Venezuela.

Recibido:

Recibido en: 28/11/2014

| Aceptado:

Aceptado en: 15/02/2015

Contacto: José Pastor Mogollón - jmogollon15@gmail.com

Resumen

Se evaluó el efecto de la rotación de cultivos hortícolas sobre las propiedades químicas y biológicas del suelo en el Sector Guarabal estado Falcón. Se seleccionaron dos parcelas con diferentes sistemas de rotación de cultivos: 1) cultivo alternado tomate-pimentón-cebolla (T-P-C) y 2) monocultivo de tomate (T-T-T). Se estudió un lote con vegetación natural como testigo. Se tomaron muestras de 0-10 cm y 10-20 cm de profundidad. Las propiedades evaluadas fueron pH, conductividad eléctrica (CE), carbono orgánico (CO), respiración basal (RB), carbono de la biomasa microbiana (C-BM), cociente metabólico ($q\text{CO}_2$) y relación C-BM/CO*100. Los valores más altos de CE (1,4 y 1,5 ds/m) fueron reportados en el sistema T-T-T, evidenciándose un proceso de salinización de suelos. La RB oscilo entre 34,4-31,5 $\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ día}$ en T-P-C y entre 81,9-87,1 $\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ día}$ para T-T-T. Los valores de C-BM para los sistemas hortícolas son inferiores a los reportados en sistemas agrícolas de zonas semiáridas. Los valores oscilan entre 190,5-340,1 $\mu\text{g C g}^{-1}$ suelo. Se observaron mayores valores de $q\text{CO}_2$ en el sistema T-T-T (0,27-0,40 $\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ Cmic.}$), lo cual indica un problema de estrés edáfico producto de la salinización del suelo. Los valores de la relación C-BM/CO*100 en los suelos hortícolas estuvieron entre 1,5 y 2,7 %, en comparación con los suelos de VN que estuvieron entre 3,9 y 5,6 %. Las propiedades biológicas del suelo, resultaron ser índices sensibles para evaluar los efectos producidos por el sistema de rotación y el uso de plaguicidas en los suelos del Sector Guarabal. El sistema de monocultivo mostró los mayores

problemas de degradación biológica del suelo.

Palabras clave: Plaguicidas, hortalizas, rotación de cultivos, calidad de suelo.

Effects of pesticides on chemical and biological soil quality in systems under vegetable production in Venezuelan semiarid

Abstract

The aim of this work was to evaluate the effect of the pesticides and the different systems of crop rotation on the chemical and biological properties of the soil in the Sector Guarabal, Falcon State. Two sites were chosen using different systems of crop rotation, 1) alternated tomato-paprika-onion (T-P-O) and monoculture of tomato (T-T-T). A non-altered natural forest, was selected as a reference soil. Samples were taken at two depths: 0-10 cm and 10-20 cm. The soil properties evaluated were pH, electrical conductivity (EC), organic carbon (OC), soil basal respiration (BR), soil carbon microbial biomass (C-BM), metabolic quotient ($q\text{CO}_2$) and the relation (C-BM/CO *100). The CE's highest values (1,4 and 1,5 ds/m) were reported in monoculture system, possibly showing a process of salinization of the soils. The RB ranged between 35,70 to 36,35 $\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1}$ day for the alternated system and between 74,40 $\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1}$ day to 75,90 $\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1}$ for the monoculture system. The values of carbon of the microbial biomass for the monoculture system, were lower than those reported in agricultural systems of semiarid zones. In contrast, data from alternated system (398,40 - 421,11 $\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1}$) was similar to that previously reported for soils of semiarid zones. Higher values of $q\text{CO}_2$ were reported in the monoculture system (0,58 - 0,39 $\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1}$ Cmic.) in comparison with alternated culture. The highest percentages of the relation C-BM/CO *100 in the studied soils, were found in the alternated system culture (3,43 - 3,53 %) in comparison with the monoculture (1,15-1,73 %). These biological properties of the soil, turned out to be sensitive indicators to observe the effects of the different systems of crops rotations and the use of pesticides on the soils of the Sector Guarabal, Federación. The monoculture system showed the mayor problems of biological degradation of the soil.

Keywords: Pesticides, vegetables, crop rotation, soil quality

Introducción

Las zonas áridas y semiáridas cubren alrededor del 47% del territorio del Estado Falcón, Venezuela [1]. Estas zonas se caracterizan por poseer suelos muy susceptibles a la degradación y las condiciones edáficas y climáticas que las colocan entre los ecosistemas más frágiles del mundo y más susceptibles a la desertificación. Una de las causas principales de su degradación, es la aplicación de tecnologías agrícolas desarrolladas para áreas con condiciones ecológicas totalmente distintas [2]. Los productores de estas zonas agroecológicas, optan por el uso excesivo de insumos agrícolas (insecticidas, herbicidas, fertilizantes, etc.), a fin de generar mayores rendimientos en la producción de rubros, lo cual trae como consecuencia la degradación de los suelos [3].

El municipio Federación es una de las áreas productoras de hortalizas más importante del Estado Falcón y los cultivos de tomate, pimentón y cebolla son los rubros principales [4]. La

producción de tomate se concentra mayormente en la zona semiárida del municipio, específicamente en los sectores Barrio Nuevo, El Paují, La Estación, Las Playitas, Agua Larga y Guarabal [5]. Actualmente en el municipio Federación se alcanzan los mayores rendimientos de cultivos de hortalizas en la geografía falconiana, estando éstos por encima de los promedios nacionales [6]. Esta situación ha provocado una alta presión de uso de los recursos naturales, fundamentalmente por la utilización indiscriminada y excesiva de fertilizantes y plaguicidas, lo cual ha generado una alta resistencia de insectos plaga y el desequilibrio del ecosistema en general [7].

La parroquia Independencia en el municipio Federación del estado Falcón, presenta una significativa participación en la producción de hortalizas (tomate, pimentón y cebolla) tanto a nivel regional como nacional, ya que la principal actividad económica es la agricultura [8]. Algunos estudios realizados, reportan en esta zona una superficie de siembra superior a las 600 hectáreas [9]; el sector Guarabal se considera uno de los más representativos en esta producción.

En la zona se vienen repitiendo modos tradicionales de explotación intensiva que han sido desarrollados en otras localidades del estado o del país, mediante el uso indiscriminado de pesticidas [10], lo cual trae como resultado un agotamiento del recurso agua y del recurso suelo fundamentalmente, así como un significativo daño al ambiente. Estos autores señalan, que la producción presenta un comportamiento errático, con modos tradicionales de explotación intensiva y uso indiscriminado de agroquímicos.

En particular, la producción de hortalizas del sector Guarabal en esta parroquia, es realizada por medianos productores los cuales carecen de un marco gerencial que los oriente hacia un sistema de producción adecuado y sostenible. Se observa en la zona, el uso de productos químicos altamente tóxicos para el ambiente y la salud, lo cual se ha intensificado progresivamente durante los últimos años. Estos agroquímicos son utilizados sin ninguna asesoría técnica, lo que pone en riesgo la calidad de suelo ya que conduce a efectos negativos sobre las propiedades químicas y biológicas de este recurso, reduciendo la fertilidad del mismo y disminuyendo las condiciones necesarias para el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Esta situación se ha visto reflejada en otras localidades de Venezuela, tales como El Cebollal en el estado Falcón [11] y Quíbor en el Estado Lara [12].

En el Sector Guarabal, parroquia Independencia, no se conoce ningún estudio publicado que permita determinar cuál ha sido el efecto de los plaguicidas usados en estos cultivos de hortalizas sobre la calidad del suelo. Por esta razón se realizó esta investigación, donde se evaluó el efecto de la rotación de cultivos de hortalizas sobre la calidad química y biológica del suelo en parcelas productivas de este sector lo que permitió generar información de línea base relacionada al estatus del suelo en términos de su calidad. Esto con miras a establecer propuestas de manejo de estos suelos bajo sistemas de producción sostenibles, que conlleven a una mejor condición ambiental, social y económica para los habitantes de la zona.

Materiales y métodos

Área de estudio

El presente trabajo fue realizado en el sector Guarabal parroquia Independencia, a 13 km Oeste de Churuguara, municipio Federación, estado Falcón (Venezuela), ubicado entre las coordenadas 11°91'31" latitud norte y 41°79'94" longitud oeste y a una altura de 775 msnm. La Parroquia Independencia se encuentra ubicada al noroeste del estado Falcón sobre una superficie de 80 Km² y presenta una significativa participación en la producción de hortalizas tanto al nivel regional como nacional [10]. La zona de estudio presenta una precipitación media de 750 mm/año y una temperatura promedio anual de 28°C. La evapotranspiración sobrepasa los 2000 mm/año [13].

La vegetación de la zona es típica de regiones semiáridas, predominando especies xerofíticas de la zona de bosque espinoso tropical, destacándose especies como el cardón (*Lemairecereus grisens*), cují (*Prosopis juliflora*), tuna (*Opuntia caracasana*), dividive (*Capparis odoratissima*), yabo (*Cercidium praecox*) y buche (*Cactus caesins*) [6].

Parcelas experimentales

En el sector Guarabal, fueron seleccionadas dos parcelas, cada una con un sistema de producción de hortalizas: monocultivo de tomate y cultivo alternado de tomate, pimentón y cebolla. Las parcelas seleccionadas dentro del área de estudio, se diferenciaron fundamentalmente por el manejo en el sistema de producción de hortalizas. Ambos sistemas de producción son manejados por pequeños productores y se caracterizan por la utilización de una gran variedad de agroquímicos.

Las principales características que presentan cada uno de los sistemas de producción evaluados son:

Parcela (1) "San José": sistema de producción de cultivo alternado (tomate-pimentón-cebolla), que para el momento del muestreo contaba con una superficie de siembra de 1 ha. Está ubicado en las coordenadas geográficas 417.254 m E, y 1.190.278 m N. En este sistema se utiliza una gran variedad de plaguicidas y fertilizantes químicos según el tipo de cultivo. Este sistema de rotación contempla la realización de tres ciclos al año (uno para cada rubro), y por un período de cinco (5) años; luego de este período la parcela queda en barbecho por aproximadamente diez (10) años; mientras que el productor selecciona otro lote dentro del predio, para reproducir el ciclo anterior. Cabe mencionar que para el momento de la toma de muestras de suelo, el lote estaba en el 5to año bajo este sistema.

Parcela (2) "Rosa Elena": sistema de producción basado en la producción intensiva de tomate con hasta tres ciclos al año (tomate-tomate-tomate), con una superficie de siembra de 1,4 ha. Se ubica en las coordenadas geográficas 417.819 m E, y 1.190.823 m N. De igual manera que el sistema anterior, se utiliza una gran variedad de plaguicidas y fertilizantes químicos. El manejo en este sistema implica la siembra de las parcelas por un período de siete (7) años, y posteriormente el lote queda en barbecho. Al momento del muestreo, el lote estaba en el cuarto año bajo este sistema de manejo.

Diseño experimental

Se planteó un diseño cuasi-experimental, el cual contempló la selección de dos parcelas de producción de hortalizas: parcela (1) con una superficie de 1 ha y parcela (2) con una superficie de 1,4 ha. Estas parcelas se encuentran separadas por una distancia de 800 metros aproximadamente, sin embargo ambas estuvieron ubicadas en las mismas condiciones agroecológicas. En cada parcela se ubicó una unidad experimental de 2.500 m² en donde se tomaron 8 muestras simples de suelo a 2 profundidades: de 0 a 10 cm y de 10 a 20 cm.

Los tratamientos fueron: T1) T-P-C para el cultivo alternado de tomate (T), pimentón (P) y cebolla (C), T2) T-T-T para el monocultivo intensivo de tomate, T3) parcela con vegetación natural 1 (VN) la cual corresponde a la parcela testigo; y consiste de un lote con la vegetación autóctona de la zona, que estuvo ubicada entre las dos parcelas anteriores; la misma se caracteriza por no presentar ninguna intervención agrícola en los últimos 50 años. Esto permitió obtener información de los indicadores edáficos en condiciones naturales, lo cual fue utilizado como control. Además, esta información permitió obtener una idea del nivel de afectación o degradación del suelo producto del uso de los plaguicidas.

Mediante una entrevista realizada a los productores de las parcelas muestreadas en el Sector Guarabal, se identificaron los principales plaguicidas y fertilizantes utilizados en cada sistema de producción evaluado. La Tabla 1 presenta una lista de las principales características de los agroquímicos en el área de estudio

Muestreo de suelos

Las muestras de suelo fueron recolectadas en el mes de Julio del 2011 durante la época seca, en cada una de las parcelas de cultivo de hortalizas. Se muestreo el suelo en 8 puntos seleccionados aleatoriamente, para obtener 8 muestras simples a dos profundidades: de 0-10 y 10-20 cm. Cada muestra se dividió en dos porciones; la primera fue secada a temperatura ambiente y tamizada (2 mm) y posteriormente se guardó en envases plásticos para la medición de los parámetros físicos y químicos. La segunda muestra fue tamizada a la humedad de campo (2 mm) y conservada en una nevera a 4 °C, para realizar los análisis biológicos posteriormente.

fig1

Tabla 1: Lista de plaguicidas y fertilizantes utilizados en los sistemas de producción de hortalizas, Sector Guarabal, Municipio Federación, Estado Falcón, durante el ciclo Enero-Diciembre-2012.

Análisis físico-químico y biológico del suelo

Las variables físico-químicas analizadas incluyeron: textura, pH, conductividad eléctrica (CE) y carbono orgánico (CO). La clasificación textural del suelo se realizó mediante el método de Bouyoucos [14]. El pH se determinó mediante una relación suelo:agua 1:2 por el método potenciométrico. La CE fue determinada mediante una relación suelo:agua 1:2 por el método conductimétrico, ambos métodos realizados según la metodología propuesta por FONAIAP [15]. El CO fue determinado mediante el método de Walkley-Black [16].

Las variables biológicas determinadas fueron: respiración basal (RB), carbono de la biomasa microbiana (C-BM) y cociente metabólico (CM). La (RB) fue medida de acuerdo al método

descrito por Alef [17], fundamentado en el CO₂ liberado durante la incubación del suelo (al 60% de la capacidad de campo) en un sistema cerrado, durante 24 horas. El (C-BM) se determinó por el método de la respiración inducida por sustrato [18] el cual se fundamenta al estimular la respiración de los microorganismos del suelo agregando a este medio un sustrato fácilmente degradable, como la glucosa. El cociente metabólico ($q\text{CO}_2$) se determinó mediante una relación, entre la respiración basal ($\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ día}$) y la cantidad de biomasa microbiana ($\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1}$), por unidad de tiempo (hora) y fue expresado: ($\text{?g C-CO}_2 \text{ ?g}^{-1} \text{ Cmic.h}$). Adicional a estos parámetros, se estimó otro índice de la actividad biológica del suelo como es la relación de C-BM y el CO (C-BM/CO *100)

Análisis estadísticos

El análisis estadístico contempló un análisis de varianza (ANOVA) para determinar diferencias entre los distintos sistemas de rotación y el control, sobre los parámetros químicos y biológicos evaluados. Para aquellas variables que presentaron diferencias significativas, se realizaron pruebas medias de Tukey para separar los tratamientos en función de la magnitud de los valores obtenidos. Para ello se utilizó el software estadístico Statistica versión 6.0 [19].

Resultados y discusión

Variables físico-químicas del suelo

Un total de 48 muestras de suelo fueron analizadas, correspondientes a las parcelas productoras de hortalizas y el lote con vegetación natural. La tabla 2 presenta la caracterización físico-química en los suelos del área estudiada, a las dos profundidades de muestreo. Como se observa, todos los suelos evaluados presentan una clase textural franco arcillosa(FA) a las dos profundidades, según el sistema de clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos [20]. En este sentido, se espera que las diferencias encontradas en las variables químicas y biológicas se deban a condiciones de manejo y no a diferencias de sitio.

| Tratamientos | pH | CE (dS m ⁻¹) | CO (%) | % a | %A | Clase Textural |
|------------------|--------|-----------------------------|--------|------|------|----------------|
| T-P-C (0-10 cm) | 7,81 a | 0,25 c | 1,32b | 40 a | 34 a | FA |
| T-P-C (10-20 cm) | 7,80 a | 0,21 c | 1,19 b | 44 a | 33 a | FA |
| | | | | | | |
| T-T-T (0-10 cm) | 7,68 a | 1,55 a | 1,23b | 41 a | 32 a | FA |
| T-T-T (10-20 cm) | 7,69 a | 1,41 b | 1,20b | 42 a | 31 a | FA |
| | | | | | | |
| VN (0-10 cm) | 7,66 a | 0,25 c | 2,28 a | 42 a | 34 a | FA |
| VN (10-20 cm) | 7,76 a | 0,17 c | 2,25a | 40 a | 33 a | FA |

Tabla 2: Propiedades físicas y químicas evaluadas en los suelos del sector Guarabala las dos profundidades de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas (N=48; p<0,05), según la prueba de Tukey.

No se encontraron diferencias estadísticas en los valores de pH entre los tratamientos evaluados a las dos profundidades de muestreo; los valores encontrados indican que los suelos analizados presentan una ligera alcalinidad [21]. Esta situación podría estar asociada a la condición semiárida del área bajo estudio que se caracteriza por presentar bajas precipitaciones y elevada evaporación dificultando el lavado de bases cambiables en estos suelos. En un estudio realizado en la zona [6], se encontraron valores similares y se asociaron los altos valores de pH con las pocas precipitaciones caídas dificultando el lavado de bases cambiables del suelo y en consecuencia, originando una ligera alcalinidad del mismo. Estos resultados parecen indicar que la alcalinidad de estos suelos puede estar más asociada a las acondiciones agroecológicas que caracterizan al Sector Guarabal, que por los plaguicidas y fertilizantes que utilizan los productores de la zona.

Tal como puede observarse en la Tabla 2, la conductividad eléctrica (CE) en el tratamiento alternado T-P-C reportó valores menores a 0,8 ds/m, considerados no salinos (22), al igual que la parcela con vegetación natural (control), lo cual indica que este sistema de rotación no conlleva a un proceso de salinización del suelo.

Por el contrario, el sistema de monocultivo (T-T-T) presentó valores de CE entre 1,4 y 1,5 ds/m, triplicando los niveles de CE con respecto al control (vegetación natural), lo que podría estar evidenciando un proceso de salinización de los suelos. Se indica que en aquellos suelos que presentan pocas sales solubles acumuladas, no se presentan problemas de salinidad [23].

Estos resultados pueden estar asociados con el uso de fertilizantes y plaguicidas químicos, ya que en el sistema de monocultivo (T-T-T) existe una mayor presión de uso sobre el recurso suelo, con hasta tres ciclos de producción de tomate al año, excesivas actividades de mecanización y altas dosis de productos químicos, lo que pudiera estar ocasionando un incremento de salinización del mismo. Se plantea que la adición de fertilizantes químicos al suelo, puede incrementar la presencia de sales con sus iones respectivos, dando como resultado mayores valores de conductividad eléctrica y originando problemas de salinización (24).

Los valores de carbono orgánico (CO) correspondientes a los suelos agrícolas evaluados en el sector Guarabal se presentan en la Tabla 2. Como puede observarse, variaron entre de 1,19 % y 1,32 %. Trabajos en la zona (6) reportan rangos de niveles de CO de 0,83 % a 1,48 %, comparables a los reportados en este trabajo.

Niveles más altos de CO (2,37% a 4,77 %) son reportados en suelos de mayor altitud como La Sierra de San Luis del estado Falcón, Venezuela [25]. Los autores afirman que estas concentraciones se deben a un mayor volumen de residuos orgánicos originados por la presencia de una mayor cobertura vegetal. Era de esperarse que en zonas semidesérticas desprovista de vegetación como la zona en estudio, valores medios o bajos de carbono orgánico (CO) pudieran reportarse.

Los análisis estadísticos reportan que existen diferencias significativas entre los tratamientos evaluados a un nivel de significancia ($p < 0,05$). Tal y como se observa en la tabla 2, no hubo diferencias entre el sistema de producción alternado (T-P-C) y el sistema de tomate como

monocultivo (T-T-T) a ninguna de las dos profundidades evaluadas; sin embargo, se encontraron diferencias significativas con la vegetación natural (control) donde se observaron los mayores niveles de CO. Esto indica que los suelos bajo producción agrícola presentan una disminución de la materia orgánica del suelo, lo cual ya ha sido reportado en otras investigaciones realizadas en suelos ubicados en zonas semiáridas [6, 26-28]. Cabe señalar que bajo estos sistemas agrícolas intensivos, se establece un agotamiento progresivo de las reservas del carbono orgánico del suelo.

Se ha señalado en la literatura que los suelos de zonas áridas presentan bajos contenidos de materia orgánica (MO) como resultado de la escasa producción primaria neta y de la rápida degradación de los restos orgánicos [29]. Por otra parte, también se ha indicado que las prácticas que conllevan el uso intensivo de la tierra pueden tener un efecto adverso sobre los niveles de la MOS [11, 26]. Concentraciones muy bajas de CO en suelos utilizados con monocultivos, pueden estar relacionadas con un efecto de dilución del suelo superficial con el suelo subsuperficial, aunado a un aumento en la tasa de oxidación de la MOS [30].

Variables biológicas

La Tabla 3 presenta las propiedades biológicas: respiración basal (RB), carbono de la biomasa microbiana (C-BM), cociente metabólico ($q\text{CO}_2$) y la relación entre biomasa microbiana y carbono orgánico (C-BM/CO) evaluadas en los suelos del Sector Guarabal, a las dos profundidades de muestreo.

| Tratamientos | RB ($\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1}$ día) | C-BM ($\mu\text{g C g}^{-1}$) | $aq\text{CO}_2$ | (C-BM/CO)*100 (%) |
|------------------|---|------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| T-P-C (0-10 cm) | $34,45 \pm 3,48\text{c}$ | $297,50 \pm 20,84\text{b}$ | $0,12 \pm 0,01$ cd | $2,43 \pm 0,17\text{ c}$ |
| T-P-C (10-20 cm) | $31,56 \pm 2,09\text{c}$ | $190,50 \pm 22,72\text{ c}$ | $0,18 \pm 0,02\text{ c}$ | $1,59 \pm 0,15\text{d}$ |
| T-T-T (0-10 cm) | $87,15 \pm 5,23\text{a}$ | $340,13 \pm 20,98\text{b}$ | $0,27 \pm 0,03\text{b}$ | $2,77 \pm 0,18\text{c}$ |
| T-T-T (10-20 cm) | $81,91 \pm 4,47\text{a}$ | $206,76 \pm 9,81\text{c}$ | $0,40 \pm 0,05\text{ a}$ | $1,68 \pm 0,09\text{d}$ |
| VN (0-10 cm) | $49,89 \pm 2,43\text{b}$ | $504,56 \pm 30,83$ a | $0,06 \pm 0,01\text{d}$ | $3,89 \pm 0,24\text{b}$ |
| VN (10-20 cm) | $30,99 \pm 3,57\text{c}$ | $490,65 \pm 11,26\text{a}$ | $0,10 \pm 0,02\text{d}$ | $5,57 \pm 0,81\text{a}$ |

Tabla 3: Propiedades Biológicas Evaluadas en los Suelos del Sector Guarabal, a las dos profundidades de muestreo. a: ($\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1}$ Cmic.h). Letras diferentes indican diferencias significativas (N=48; p<0,05), según la prueba de Tukey.

Respiración basal (RB)

Como se reporta en la Tabla 3, la RB en los suelos estudiados presentan diferencias significativas ($p<0,05$) entre los tratamientos evaluados. Se observa que en el sistema de producción de hortalizas en monocultivo (T-T-T) se evidenciaron mayores tasas de la respiración basal a las dos profundidades de muestreo con respecto al sistema de cultivo alternado (T-P-C) y a la vegetación natural (VN). Los valores de RB oscilaron entre 81 y 87 $\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ día}$ para el sistema de monocultivo (T-T-T), y entre 31 y 34 $\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ día}$ para el sistema alternado (T-P-C). Estos valores son superiores a los reportados para el sector Barrio Nuevo del municipio Federación, Venezuela [31], donde se encontraron valores de 5,4 a 6,4 $\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ día}$, en suelos bajo producción de hortalizas con uso de plaguicidas químicos.

En los suelos con vegetación natural (VN) se encontraron valores intermedios de emisión de CO_2 , los cuales oscilaron entre 30 y 50 $\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ día}$. Los mayores valores de RB en los suelos bajo condiciones de monocultivo podrían estar relacionados a una mejor adaptación de los microorganismos del suelo a los compuestos químicos provenientes de los plaguicidas incorporados al suelo. Estudios realizados relacionados al análisis de los cambios de la biomasa microbiana y respiración basal producidos por la incorporación de plaguicidas, indican que existen productos que podrían estimular la actividad biológica del suelo [32].

Los resultados obtenidos en este estudio no concuerdan con lo reportado por otros trabajos realizados en zonas semiáridas [11], donde se señala que los valores más altos de RB se consiguen en los suelos bajo vegetación de bosque, con respecto a los suelos bajo producción agrícola, y se plantea que la mayor tasa de respiración está asociada a los mayores niveles de residuos carbonatados en los suelos con vegetación natural. En este estudio, existen otras condiciones que podrían estar estimulando la tasa de respiración edáfica en los sistemas de monocultivo (T-T-T), lo cual podría estar asociado al uso de plaguicidas, tal como plantean algunos autores, existen algunos productos químicos que podrían estimular la actividad biológica del suelo, la cual se manifiesta en un incremento de la respiración edáfica [31, 33, 34].

Los valores más bajos de RB, fueron encontrados en el sistema bajo producción de cultivos alternos de tomate, pimentón y cebolla (T-P-C) lo que pudiera ser atribuido al uso intensivo de plaguicidas químicos. Los resultados de la entrevista realizada a los productores de las parcelas muestreadas en el Sector Guarabal; revelaron que al menos nueve (9) productos con distintos componentes químicos (Tabla 1); en este sentido, se plantea que alguno de los productos químicos utilizados en este sistema de rotación, pudieran estar causando un efecto inhibitorio sobre los microorganismos del suelo, limitando su metabolismo, lo cual se traduce en una disminución de la respiración basal del mismo, tal como ha sido señalado en otras investigaciones [35, 36].

Carbono de la biomasa microbiana (C-BM)

Los valores C-BM para los suelos estudiados reportan diferencias altamente significativas ($p<0,05$) entre los tratamientos evaluados a las dos profundidades de muestreo (Tabla 3), con respecto a los suelos bajo vegetación natural. Sin embargo, no se encontraron diferencias entre los dos sistemas de cultivo, presentando valores similares en las dos profundidades evaluadas, siendo los valores de la capa superficial del suelo mayores a los encontrados en el

suelo más profundo (10-20 cm). Los mayores valores de C-BM se encontraron en los suelos con vegetación natural (VN) con valores entre 490 y 504 $\mu\text{g C g}^{-1}$.

Los menores valores de C-BM encontrados en los sistemas de cultivos de hortalizas, tanto el sistema alternado (T-P-CT), como el sistema de monocultivo (T-T-T) estarían asociados a la cantidad de agroquímicos utilizados, y tal como se señala en algunos estudios [37, 38] no existe una selectividad demostrada sobre los microorganismos que habitan el suelo, en la mayoría de estos productos, considerándose en muchos casos como productos de amplio espectro, por lo cual se espera que ocasionen una mayor inhibición en el crecimiento y metabolismo de las poblaciones microbianas en los suelos tratados, cuando se utiliza una gran diversidad de productos químicos. Los resultados del C-BM para los suelos estudiados, reflejan claramente los cambios producidos en los sistemas de producción de hortalizas, con respecto al ecosistema con vegetación de bosque natural. Se encontró una reducción de la biomasa microbiana del suelo, que están por el orden del 40 al 60 % en los suelos agrícolas con respecto a los suelos bajo vegetación de bosque. En sistemas de monocultivo de tomate se ha encontrado una disminución del C-BM, indicando que este sistema es más intensivo en relación a la aplicación de insumos agrícolas [6]. Los autores señalan que esta situación podría ocasionar una disminución 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, lo que genera una disminución en la biota del suelo. Se plantea además [12] que los sistemas intensivos de producción de hortalizas con excesiva mecanización, inadecuado uso de fertilizantes y plaguicidas originan un deterioro biológico de los suelos.

Cociente metabólico ($q\text{CO}_2$)

En la tabla 3 se presentan los valores de cociente metabólico ($q\text{CO}_2$) de los suelos analizados. Los análisis estadísticos indican diferencias estadísticamente significativas ($p<0,05$) entre los sistemas de cultivo evaluados a las dos profundidades de muestreo. Los valores del $q\text{CO}_2$ en el sistema de cultivo alternado (T-P-C), son similares (en la profundidad superficial del suelo) a los encontrados en el suelo de VN. En el sistema de monocultivo (T-T-T) se observan los mayores valores de $q\text{CO}_2$ en las dos profundidades evaluadas, con valores que oscilaron entre 0,27 y 0,40 $\text{?g C-CO}_2 \text{ ?g}^{-1} \text{ Cmic.h}$. Es importante destacar que los valores de $q\text{CO}_2$ para los suelos evaluados en este trabajo, son más bajos en comparación con otros trabajos [25, 39-41].

Los mayores valores de $q\text{CO}_2$ en el sistema de monocultivo (T-T-T) con respecto al cultivo alternado (T-P-C), a las dos profundidades de muestreo, podrían estar asociados a una condición de estrés edáfico. En la literatura se señala que los aumentos en el $q\text{CO}_2$ se atribuyen a la disminución en la biomasa microbiana activa, que pone en evidencia una demanda energética mayor y una eficiencia metabólica reducida para mantener la integridad de las células bajo condiciones de estrés [39, 40].

Esta situación pudiera estar indicando que en los suelos del Sector Guarabal, bajo monocultivo se estaría presentando un estrés edáfico, producto del proceso de salinización, lo cual se evidencia en los mayores valores de conductividad eléctrica encontrados en este sistema. Algunos trabajos realizados ponen en evidencia el efecto negativo de la salinidad sobre la

actividad metabólica de los microorganismos del suelo [42, 43], al indicar que el aumento de la salinidad da como resultado una comunidad microbiana más pequeña y estresada, y además menos eficiente en el uso de recursos carbonatados en el suelo, lo que implica que una mayor proporción de sustratos carbonatados se pierden como CO₂ a través de aumento de la actividad respiratoria.

Los resultados concuerdan con los obtenidos en otra investigación [41], donde se encontró que el qCO₂ fue menor en suelos sujetos a una rotación de cultivos que en el monocultivo. Los autores señalados indican que una comunidad vegetal diversa, favorece la eficiencia de la comunidad microbiana al reducir sus demandas energéticas. Por otra parte se plantea que valores más altos de qCO₂ podrían estar relacionados a una menor calidad de los sustratos y una disminución en la eficiencia de los microorganismos [25]. Los resultados parecen indicar que los suelos bajo rotación de cultivos, en el Sector Guarabal Municipio Federación presentan una mejor calidad en los sustratos y mayor eficiencia de los microorganismos del suelo.

*Índice C-BM/CO*100*

Los valores del cociente C-BM/CO *100 para los suelos estudiados reportan diferencias altamente significativas ($p<0,05$) entre los tratamientos evaluados (Tabla 3). Los valores más altos del índice se encontraron en los suelos bajo vegetación de bosque, con valores entre 3 y 5 %. Los valores en los dos sistemas de producción de hortalizas estudiados estuvieron por debajo de los encontrados en VN, oscilando entre 1,6 y 2,8 %. Los resultados de este estudio revelan que los menores porcentajes de la relación C-BM/CO *100 en los suelos estudiados, fueron encontrados en los sistemas agrícolas en comparación con los suelos bajo vegetación natural no intervenida.

Se ha señalado que si en suelos bajo condiciones agrícolas, el contenido de carbono presenta un equilibrio, el cociente C-BM/CO*100 debería variar entre 2,3 y 4,0% [44]. Aquellos suelos que se desvían de este intervalo se encontrarían perdiendo o acumulando carbono. En este sentido, los sistemas de manejo implementados en el sector Guarabal, podrían estar incidiendo en procesos de pérdida de carbono del suelo. Por otra parte, se establece que a menor valor del cociente, menor será la tendencia de la materia orgánica del suelo a mineralizarse (40). Esto indica que en los suelos bajo sistemas de producción de hortalizas en el Sector Guarabal, podría estar evidenciándose una disminución en el contenido de CO del suelo, especialmente en la fracción más lábil representada por el C-BM, producto del uso intensivo del recurso suelo.

Correlación entre las variables estudiadas

La Tabla 4 presenta la matriz de correlación entre las propiedades químicas y biológicas evaluadas en los suelos del Sector Guarabal, a las dos profundidades de muestreo. Como se observa en la Tabla 4, en este estudio la respiración basal (RB) mostró una correlación positiva y altamente significativa ($r = 0,90$; $p<0,01$) con la CE (salinidad) del suelo. Esto indica que a medida que aumenta la salinidad, aumenta la tasa de respiración basal del suelo. Tal como ha sido señalado [43], el aumento en la RB indica que se trata de una población microbiana estresada, la cual es poco eficiente en el uso de los sustratos orgánicos, y esto conlleva a una

mayor proporción de pérdida de sustratos como CO₂ a través del incremento de la actividad respiratoria. Lo anterior queda corroborado al observar la relación entre el cociente metabólico y la CE del suelo ($r = 0,81$; $p<0,01$).

| Variables | pH | CE | CO | RB | C-BM | qCO ₂ |
|------------------|----------|---------|----------|----------|---------|------------------|
| pH | 1,00 | | | | | |
| CE | -0,35* | 1,00 | | | | |
| CO | -0,05 ns | 0,17 ns | 1,00 | | | |
| RB | -0,04 ns | 0,90** | 0,24ns | 1,00 | | |
| C-BM | -0,04 ns | -0,34* | -0,13 ns | -0,03 ns | 1,00 | |
| qCO ₂ | -0,30* | 0,81** | 0,22 ns | 0,80** | -0,66** | 1,00 |

Tabla 4: Análisis de correlación para las propiedades químicas y biológicas evaluadas en los suelos del Sector Guarabal, a las dos profundidades de muestreo. * $p<0,05$; ** $p<0,01$; ns = no significativa.

Se observó una relación inversa y significativa ($r = -0,66$; $p<0,01$) entre el C-BM) y el qCO₂, lo cual es una situación común, ya que los factores que causan estrés a la biomasa microbiana también tienden a reducir su tamaño (45).

El carbono de la biomasa microbiana (C-BM), como se observa en la Tabla 4, presenta una correlación negativa y significativa ($r = -0,34$; $p<0,05$), con la CE lo que indica que mayores contenidos de sales, estarían disminuyendo los niveles de C-BM del suelo. Esta situación se puede observar en el sistema de monocultivo donde existe un proceso de salinización y se reportaron los menores valores de C-BM del suelo. Estos resultados concuerdan con otro estudio [11], donde se encontró un efecto antagónico entre la salinidad del suelo (CE) y el C-BM, señalando que los suelos con problemas de degradación química por altos contenidos de sales, pueden llegar a presentar problemas de degradación biológica manifestado en una disminución de la biomasa microbiana del suelo.

Conclusiones

La conductividad eléctrica de los suelos evaluados en el sistema de monocultivo mostró un proceso de salinización, posiblemente debido a que este sistema de cultivo considerado más intensivo, emplea altas dosis de fertilizantes y plaguicidas químicos.

Las propiedades biológicas del suelo resultaron ser índices sensibles para observar los efectos producidos en los suelos del Sector Guarabal, producto de los diferentes sistemas de cultivo y uso de plaguicidas. Los sistemas de producción de hortalizas mostraron problemas de degradación biológica del suelo, al presentar una marcada disminución en el carbono de la biomasa microbiana (C-BM), una menor fracción de carbono orgánico lámil representado por (C-BM/CO*100) y un aumento en el cociente metabólico, con respecto a los suelos bajo vegetación natural.

Los mayores valores del cociente metabólico se encontraron en el sistema de tomate como monocultivo, lo cual hace suponer la existencia de un estrés edáfico asociado al uso extremo del suelo con altas dosis de plaguicidas, y al aumento de la salinidad del suelo en este sistema de producción.

En función de los parámetros evaluados en este estudio, los resultados obtenidos permiten indicar como mejor práctica agronómica los sistemas de cultivo alternados, los cuales garantizan un uso más eficiente del recurso suelo a largo plazo.

Referencias:

1. **Matteucci S, Colma A, Pla L.** (1999). Biodiversidad vegetal en el árido falconiano (Venezuela). *Interciencia*. 24: 300-307.
2. **Díaz M.** (2001). Ecología experimental y ecofisiología: Bases para el uso sostenible de los recursos naturales de las zonas áridas neo-tropicales. *Interciencia*. 26:472-478.
3. **Andrade M, Fernández E, Alonso M.** (2005). Influencia del manejo agrícola intensivo en la contaminación del suelo. *Revista Pilquen*. 7:1-17.
4. **Ruiz C, Russián T, Túa D.** (2007). Efecto de la fertilización orgánica en el cultivo de la cebolla. *Agronomía Tropical*. 57: 7-14.
5. **Ruiz C, Russián T, Túa D.** (2008). Efecto del momento del riego y el nitrato de calcio en plantas de tomate (*Lycopersicum esculentum* L.). *Revista de la Facultad de Agronomía. (LUZ)*. 25: 421-439.
6. **Zamora F, Mogollón JP, Rodríguez N.** (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*. 5:62-70.
7. **Zamora F, Túa D.** (2000). Insectos plaga en Churuguara, municipio Federación, estado Falcón. *Fonaiap Divulga*. 67:16-17.
8. **Vera MC.** (2012). Trabajo Especial de Grado para optar al título de Licenciada en Ciencias Ambientales. UNEFM. Efecto de plaguicidas sobre la calidad química y biológica del suelo en sistemas de producción de hortalizas del sector Guarabal, municipio Federación, estado Falcón. 67 pp.
9. **SDA.** (1997). Secretaría de Desarrollo Agrícola y Pecuaria del estado Falcón. Situación hortícola en el municipio Federación. Falcón: SDA.
10. **Piña H, Sánchez F.** (2004). Perfil competitivo del circuito hortícola en la parroquia Independencia del municipio Federación del estado Falcón, Venezuela. *Agroalimentaria*. 10: 95-103.
11. **Mogollón JP, Torres D, Martínez A.** (2010). Cambios en algunas propiedades biológicas del suelo según el uso de la tierra en el sector El Cebollal, estado Falcón, Venezuela. *Bioagro*. 22:217-222.
12. **Torres D, Aparicio M, López M, Contreras J, Acevedo I.** (2009). Impacto del tipo de uso de la tierra sobre propiedades del suelo en la depresión de Quíbor. *Agronomía Tropical*. 59:207-217.
13. **Ruiz C.** (2008). Efecto del fertilizante potásico sobre la calidad química de frutos de tomate (*Lycopersicum esculentum*L.) almacenados bajo dos temperaturas. *Revista de la Facultad de Agronomía. (LUZ)*. 25: 286-302.
14. **Bouyoucos G.** (1962). Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. *Agronomy Journal*. 54: 464-465.
15. **FONAIAP.** (1990). Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad. Manual de Métodos y Procedimientos de Referencia. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Maracay, Venezuela. 75 Pp. (Series D, Nº 26).
16. **Walkley A, Black IA.** (1934). An examination of the method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. 37:29-38.
17. **Alef K.** (1995). Soil respiration. In:Alef K, y Nannipieri P. (Eds). *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. Academic Press, Harcourt Brace & Company Publishers. London. England. Pp. 214-217.
18. **Anderson JP, Domsch KH.** (1978). A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soil. *Soil Biology and Biochemistry*. 10: 215-221.
19. **StatSoft.(2001).** STATISTICA (Data Analysis Software System and Computer Program Manual). Versión 6.0 StatSoft.
20. **USDA.** (1996). Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. *Soil survey laboratory methods manual*. 440 Pp.

21. **Casanova E.** (2005). Introducción a la Ciencia del Suelo. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela (CDCH-UCV). Segunda edición, Caracas, Venezuela. 395 Pp.
22. **Fuentes-Yagüe J.** (1999). El suelo y sus fertilizantes. Mundi-Prensa Libros S.A. 5ta Edición. Madrid, España. 350 Pp.
23. **Zamora FR, Torres D, Rodríguez N, Zamora FJ.** (2008). Dinámica de las sales en un suelo sembrado con melón (*Cucumis melo*) bajo riego por goteo en la Península de Paraguaná estado Falcón. *Multiciencias*. 8:27-32.
24. **Morales M, Lépez R, González D, Nuño R, Claudio L, Zarazúa P, Mena S, López E.** (2007). Efecto de la aplicación de agroquímicos y abonos orgánicos sobre la producción de frijol y la población microbiana del suelo. *Scientia-CUCBA*. 9:81-93.
25. **Mogollón JP., Martínez A.** (2009). Variación de la actividad biológica del suelo en un transecto altitudinal de La Sierra de San Luís, Estado Falcón. *Agronomía Tropical*. 59: 469-479.
26. **Mogollón JP, Martínez A, Rivas W.** (2014). Degradación química de suelos agrícolas en la Península de Paraguaná, Venezuela. *Suelos Ecuatoriales*. 44:22-28.
27. **Mogollón JP, Rivas W, Muñoz B, Márquez E, Lemus L, Colmenares M, Martínez A, Campos Y, Hernández, S.** (2013). Cambios en el carbono orgánico del suelo bajo sistemas agrícolas intensivos en la Península de Paraguaná, estado Falcón. Memorias del XX Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo, San Juan de los Morros, Venezuela del 25 al 29 de noviembre del 2013 (CD-ROM).
28. **Martínez E, Fuentes J, Acevedo E.** (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*. 8: 68-96.
29. **Abril A, Noe L, Filippini M.** (2014). Manejo de enmiendas para restaurar la materia orgánica del suelo en oasis de regadio de Mendoza, Argentina. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*. 40:1-9.
30. **Angers D, Bissonnette N, Legere A, Samson N.** (1993). Microbial and biochemical changes induced by rotation and tillage in a soil under barley production. *Canadian Journal of Soil Science*.73:39-50.
31. **Torres D, Rojas P, López M, Zamora F.** (2009). Efecto de los insecticidas Methyl-Parathion, Carbofurán y Lamda-cyhalotrina sobre la actividad biológica del suelo. *Revista Unellez de Ciencia y Tecnología*. 27: 18-31.
32. **Rodríguez N, Coronado H, Torres D, Zamora F.** (2009). Cambios en la biomasa microbiana, respiración basal y germinación de cebolla (*Allium cepa L.*) luego de la aplicación de los herbicidas Oxifluorfen, Fluaxifop y Pendimetalin en un entisol del estado Falcón. *Revista UDO Agrícola*. 9: 579-589.
33. **El Azhari N.** (2007). Studies on the response of soil microflora to the application of the fungicide fenhexamid. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 87:949-956.
34. **Das A, Mukherjee D.** (2000). Soil application of insecticides influences microorganisms and plant nutrients. *Applied Soil Ecology*. 14:55-62.
35. **Sethi S, Gupta S.** (2013). Impact of pesticides and biopesticides on soil microbial biomass carbon. *Universal Journal of Environmental Research and Technology*. 3:326-330.
36. **Bünemann E, Schwenke G, Van Zwieten L.** (2006). Impact of agricultural inputs on soil organisms - a review. *Australian Journal of Soil Research*. 44:379-406.
37. **Rivera D, Camelo M, Estrada G, Obando M, Bonilla R.** (2010). Efecto de diferentes plaguicidas sobre el crecimiento de *Azotobacter chroococcum*. *Revista Colombiana de Biotecnología*. 12:94-102.
38. <http://www.ccoo.cat/FSAP/justicia/SALUT%20LABORAL/Plaguicidas.pdf>, accedido 10/09/2014.
39. **Albanesi A, Anriquez A, Polo A.** (2003). Efectos de la agricultura convencional sobre algunas formas de C en una topo secuencia de la Región Chaqueña, Argentina. *Agriscientia*. 20: 9-17.
40. **Sánchez B, Ruiz M, Ríos M.** (2005). Materia orgánica y actividad biológica del suelo en relación con la altitud en la cuenca del Rio Maracay, Estado Aragua. *Agronomía Tropical*. 55: 507-534.
41. **Álvarez J, Díaz E, León N, Guillén J.** (2010). Enmiendas orgánicas y actividad metabólica del suelo en el rendimiento de maíz. *Terra Latinoamericana*. 28: 239-245.
42. **Saviozzi A, Cardelli R, Di Puccio R.** (2011). Impact of Salinity on Soil Biological Activities: A Laboratory Experiment. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 42:358-367.
43. **Rietz D, Haynes R.** (2003). Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry*. 35:845-854.
44. **Ruiz M, Paolini J.** (2004). El cultivo y el agua de riego sobre el carbono de la biomasa microbiana. *Agronomía Tropical*. 54:161-178.
45. **Sparling GP.** (1997). Soil microbial biomass, activity and nutrient cycling as indicators of soil health. In: Pankhurst CE, Doube BM, y Gupta V. (Eds.). *Biological Indicators of Soil Health*, CAB, Wallingford. Pp. 97-119.

