

## CARACTERIZACIÓN BIOLÓGICA DE SUELOS Y SUSTRATOS EMPLEADOS EN LA PRODUCCIÓN DE VEGETALES EN INVERNADEROS

GLENNY LÓPEZ<sup>1</sup>; ISIDRO ALMONTE<sup>1</sup>; ARIDIO PÉREZ<sup>1</sup>; DAVID SOTOMAYOR-RAMÍREZ<sup>2</sup>  
& PEDRO ANTONIO NÚÑEZ<sup>1\*</sup>

Recibido: 22-05-12

Recibido con revisiones: 19-03-14

Aceptado: 20-03-14

### RESUMEN

Se estima que el 85% de los productores dominicanos que cultivan vegetales en invernaderos utilizan camas elaboradas con sustratos y el 15% utiliza directamente el suelo. La aptitud de un suelo y/o de un sustrato puede ser definida en base a parámetros físicos, químicos y biológicos. Cualquier actividad biológica en un sustrato es perjudicial, mientras que en el suelo es sinónimo de calidad. El objetivo del trabajo fue evaluar biológicamente suelos y sustratos provenientes de invernaderos utilizados como medio en la producción de vegetales. Para ello se determinó: carbono biomásico (CB), nitrógeno biomásico (NB) y respiración basal (RB) en muestras de 166 invernaderos (38 de suelos y 128 de sustratos) recolectadas en cuatro localidades. El tamaño de la muestra se obtuvo a partir de un muestreo probabilístico al 5% y se distribuyó proporcionalmente al número de invernaderos según la modalidad de producción. En las zonas evaluadas, se encontraron diez tipos de sustratos elaborados a partir de carboncillo de arroz (CBA), cáscara de arroz (CA) y fibra de coco (FC). Los valores obtenidos difirieron significativamente en los suelos y sustratos con respecto a las localidades. Los sustratos con CBA presentaron mayor contenido de CB y NB, mientras que los sustratos a base de FC reportaron mayor RB. Los resultados reflejan una alta actividad microbiana en los sustratos con mayor porcentaje de material orgánico. Esto se debe a que todos los sustratos orgánicos, incluso los más estables, son susceptibles a la degradación. Esto sugiere que a pesar de ello estos sustratos son valiosos/prometedores en la producción vegetal en invernáculos, pudiendo incluso ser mejorados para que los productores de las localidades evaluadas puedan ampliar la vida útil del sustrato empleado.

**Palabras clave.** Actividad biológica, ambiente controlado, sustratos.

### BIOLOGICAL CHARACTERIZATION OF SOILS AND SUBSTRATES USED IN GREENHOUSE VEGETABLE PRODUCTION SYSTEMS

#### ABSTRACT

About 85% of the vegetable production under controlled conditions (greenhouse) in the Dominican Republic occurs with substrates as growth media and the rest uses soil (15%). The quality of a soil and/or a substrate can be described on the basis of its physical, chemical and biological properties. In a substrate, biological activity is undesirable; in soils, it is indicative of having a high quality. The objective of this study was to biologically assess soils and substrates used for vegetable production under greenhouses. Microbial biomass (MB), carbon biomass (BC), nitrogen biomass (BN) and basal respiration (BR) were determined in samples collected from 166 greenhouses (38 soils and 128 substrates) at four locations. The sample size was obtained from a 5% probability sampling and distributed proportionally according to the number of greenhouses in each production mode. In the evaluated areas, there were ten types of substrates made from charcoal rice (CR), rice husk (RH) and coconut fiber (CF). The results differed significantly in soils and substrates with respect to the localities. The CR substrates had higher BC and BN, while CF substrates had greater BR. The results showed a higher microbial activity in substrates with higher organic matter. It appears that all organic substrates, even the most stable, are susceptible to degradation. This suggests that despite of its degradability, these substrates are valuable and promising for plant production in greenhouses, but their composition needs to be improved so that the producers can extend the life of the substrate used.

**Key words.** Biological activity, controlled environment, substrates.

<sup>1</sup> Investigadores del Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF). Calle Rafael Augusto Sánchez N° 89, Ensanche Evaristo Morales, Santo Domingo, República Dominicana

<sup>2</sup> Catedrático del Departamento de Ciencias Agroambientales, Colegio de Ciencias Agrícolas, Universidad de Puerto Rico, Recinto Mayagüez, Puerto Rico.

\*Autor de contacto: pnunez@idiaf.gov.do

## INTRODUCCIÓN

La producción de vegetales bajo ambiente controlado en la República Dominicana es una actividad agrícola que se ha incrementado en el último decenio y se caracteriza por ser uno de los pilares económicos básicos en diversas regiones del país. Según el Programa de Mercados Frigoríficos e Invernaderos (PROMEFRIN), la superficie dedicada a la producción de vegetales supera las 300 hectáreas (mayor a las 250 estructuras de invernaderos), donde el 75% de la producción está destinada a la exportación. En el 2009, la producción superó las 27.000 toneladas de vegetales, de las cuales 17.000 toneladas fueron exportadas, generando US\$32 millones de dólares y el restante se comercializó a nivel local, generando US\$12 millones. Los principales mercados de exportación son Canadá, Estados Unidos, Puerto Rico y Europa (PROMEFRIN, 2010).

Los principales cultivos en estos sistemas de producción incluyen: pimiento morrón, cubanela y picante (*Capsicum annuum* L.), pepino (*Cucumis sativus* L.) y tomate de mesa y cherry (*Lycopersicon esculentum*). Las siembras son establecidas directamente en el suelo, previa nivelación para el establecimiento de la estructura o en camas elaboradas con sustratos orgánicos (Pérez *et al.*, 2010), a veces incluyendo aditivos inorgánicos inertes que se obtienen a partir de materiales locales o importados.

En los invernaderos que utilizan sustratos orgánicos, existen limitantes que afectan la calidad y el tiempo de uso de los sustratos, atribuido a la calidad del material y a los factores de manejo (IDIAF, 2008). La producción de vegetales sin el conocimiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas tanto del suelo como de los sustratos orgánicos, puede resultar en una reducción en la sustentabilidad del agro-ecosistema y el ambiente (IDIAF, 2008; Qui & Ju, 2010). Estos materiales presentan diferencias en el contenido y calidad de su materia orgánica (MO). Por un lado, el mantener una buena actividad biológica es deseable por-que permite un ambiente favorable para las raíces, existe una transferencia adecuada entre las distintas reservas de N en suelo, y mejora la disponibilidad y adquisición de nutrientes por la planta (Burés, 1997). No obstante, altas tasas de respiración microbiana, podrían ser perjudicial para el establecimiento y desarrollo del cultivo, debido a su rápida degradación que eventualmente reduce la expresión de las características físicas favorables del material como la granulometría, porosidad y densidad aparente, disminuyendo la capacidad de aireación y pudiendo producir asfixia radicular (Carrasco *et al.*, 2005).

El manejo de agua y nutrientes en la producción de vegetales en suelo usualmente es diferente a aquel producido en sustratos (Burés, 1997). El cultivo en suelo usualmente requiere de menos agua y nutrientes debido a la capacidad del suelo a suplir y retener nutrientes, y a retener humedad (Villareal *et al.*, 2002). El cultivo en sustratos requiere de aplicaciones más frecuentes y de entre un 20 y 30% más de riego que permita evitar la acumulación de sales en el medio del cultivo (Papadopoulos, 1991), y de mayor aplicación de fertilizantes. Usualmente, esto último conlleva mayor pérdida de agua y de nutrientes (Qui & Ju, 2010). En el trópico, los microorganismos juegan un rol importante en la descomposición y formación de la MO, en el mantenimiento de la fertilidad del suelo y en el potencial de retener y suplir nutrientes a las plantas (Acosta-Martínez *et al.*, 2008; Sotomayor-Ramírez *et al.*, 2009). En el caso de los sustratos, estos deben poseer "bioestabilidad"; propiedad que permite saber si un sustrato permanece con poca alteración durante el ciclo de un cultivo (Lemaire, 1997). El uso intensivo de agroquímicos para controlar la incidencia de enfermedades, podría impactar negativamente la microflora e interfiriendo con la biomasa microbiana (BM) en el suelo o en sustratos (Vischetti *et al.*, 1997).

El uso de índices que permitan estimar el impacto de prácticas agrícolas sobre la calidad de suelos y sustratos es de vital importancia. La información puede servir para saber si el uso de los sustratos y su manejo es el adecuado. Esto conllevaría al uso de los recursos con una visión más productiva y sustentable. Este trabajo se realizó con el objetivo de caracterizar biológicamente suelos y sustratos provenientes de invernaderos con producción de vegetales a través de la determinación de parámetros biológicos como carbono biomásico (CB), y nitrógeno biomásico (NB), así como también la respiración basal (RB).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

Se seleccionaron invernaderos ubicados en cuatro localidades en la República Dominicana: 1) Villa Trina (VT), provincia Espaillat (19°23'N y 70°31'O), 2) Constanza (CO) y 3) Jarabacoa (JA), provincia La Vega (19°14'N y 70°31'O) y 4) San José de Ocoa (SJO) (18°33'N y 70°30'O). Las condiciones climatológicas y de suelo en las cuatro localidades se presentan en la Tabla 1. La investigación se realizó entre julio 2009 y junio 2010. Las muestras de suelos y sustratos provenientes de los invernaderos se tomaron durante el período de producción de cultivos en todas las localidades.

Tabla 1. Características climatológicas y de suelos de las localidades estudiadas.

Table 1. Climatological and edaphic characteristics of the studied sites.

Localidad	*Altitud (msnm)	Temperatura media anual (°C)	Pluviometría media anual (mm año <sup>-1</sup> )	Ordenes de suelo dominantes	Textura suelo dominantes
Villa Trina (VT)	96-979	23	1500-2000	Inceptisol, Mollisol	AL
Constanza (CO)	1190	18 (11-25)	1038	Mollisol, Entisol	F, FA
Jarabacoa (JA)	529	22 (16-28)	1466 (1000-1500)	Mollisol, Entisol	F, FL
San José de Ocoa (SJO)	1700-2000	21-25	900-2400	Mollisol, Entisol	FA, FL

\*Los datos corresponden a los sitios donde están ubicados los invernaderos tomados con GPS.

R= arena, L= limo, A=arcilla, AL= arcillo limosa, AR=arcillo arenosa, FA= franco arcillosa, F = franca, FL = franco limosa.

### Cálculo del tamaño de la muestra

La estimación del tamaño de la muestra se obtuvo a partir de un muestreo probabilístico con un nivel de confianza de 95%. Para este cálculo se utilizó la población total de invernaderos encontrados en las localidades estudiadas y se distribuyeron proporcionalmente al número de invernaderos existentes según la modalidad de producción (Tabla 2). Se aplicó el siguiente algoritmo (Fernández, 1996) (1):

$$n_p = \frac{Z^2 N p q}{d^2 (N - 1) + [Z^2 p q]} \quad (\text{Ecuación 1})$$

donde  $n_p$  es el tamaño de la muestra para poblaciones pequeñas;  $Z$  es la desviación en relación a la distribución normal a un intervalo de confianza de 95%;  $d$  es el grado de precisión deseado (se utilizó 5) esto fue con el objetivo de reducir el error y obtener un tamaño muestral lo más cerca de la población;  $p$  es la proporción de la población que se estima que presenta la característica de estudio;  $q$  es la proporción que no presenta la característica ( $q=1-p$ );  $N$  es el tamaño estimado de la población en estudio.

Los suelos y los sustratos se colectaron tomando una muestra compuesta de aproximadamente dos kilogramos, la cual estuvo integrada por ocho sub-muestras tomadas en diferentes puntos de los invernaderos a una profundidad de 15 cm. Una porción de la muestra (0,5 kg) se separó para el análisis de la actividad microbiana (CB, NB y RB) y se mantuvo almacenada a 4 °C por un tiempo no superior a los 15 días antes de realizar las mediciones, tiempo en que según Chaussod *et al.* (1986) no afecta el valor de la biomasa microbiana. Las muestras de suelo fueron secadas y pasadas por un tamiz de 2 mm antes de realizar la determinación de los parámetros físicos y químicos. Se analizaron parámetros físicos, químicos y biológicos (conteo de hongos, bacterias y actinomicetos; Tabla 3). Los análisis físicos se realizaron en el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (Indrhi) y los análisis químicos en el laboratorio de suelos del Centa-Idiaf. El análisis textural de los

suelos se determinó empleando el método de del hidrómetro de Bouyoucos (Day, 1965). La densidad aparente se determinó por el método del cilindro (Klute, 1986), la porosidad, capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y el porcentaje de saturación se determinó por el método membrana a presión de Richard (Richard, 1947). La conductividad eléctrica se midió en un conductímetro y el pH con medidor de pH con una relación 1:2,5 (suelo/agua), el nitrógeno total se determinó mediante el método Kjeldahl (Hesse, 1971), el fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, cobre y zinc se determinaron mediante espectrometría de absorción atómica, previa digestión ácida con agua regia (HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub>, 1:3; Sims & Kline, 1991). Las determinaciones de poblaciones totales (bacterias, hongos y actinomicetos) se realizaron con la metodología de recuento directo por dilución en Plato Petri (Clark, 1965) y los resultados fueron expresados en log UFC g<sup>-1</sup>.

### Descripción de los suelos y sustratos evaluados

Se evaluaron 38 invernaderos con producción de vegetales establecidos con modalidad de siembra en suelo y 128 invernaderos con sustratos (Tabla 2). La distribución del número de invernaderos a evaluar se determinó aplicando la Ecuación 1. Se encontraron diez tipos de sustratos, elaborados principalmente de carboncillo de arroz, cáscara de arroz y fibra de coco, mezclados entre sí o con algún material inorgánico (arena o grava) o solos, los mismos se detallan a continuación: 1) carboncillo de arroz (70%) combinado con grava (30%) (CBA<sub>70</sub>+GR<sub>30</sub>), 2) fibra de coco (100%) (FIC<sub>100</sub>), 3) carboncillo de arroz (100%) (CBA<sub>100</sub>), 4) fibra de coco (80%) combinado con carboncillo de arroz (20%) (FIC<sub>80</sub>+CBA<sub>20</sub>), 5) carboncillo de arroz (70%) combinado con cascarilla de arroz (20%) y grava (10%) (CBA<sub>70</sub>+CA<sub>20</sub>+GR<sub>10</sub>), 6) carboncillo de arroz (75%) combinado con arena (25%) (CBA<sub>75</sub>+AR<sub>25</sub>), 7) carboncillo de arroz combinado con cáscara de arroz (CBA+CA), 8) carboncillo de arroz combinado con fibra de coco (CBA+FIC), 9) fibra de coco combinada con abono orgánico (FIC+AOrg) y 10) fibra de coco (50%) combinada con carboncillo de cáscara de arroz (40%) y grava (10%) (FIC<sub>50</sub>+CBA<sub>40</sub>+GR<sub>10</sub>) (Tabla 2).

Tabla 2. Número de invernaderos muestreados en las localidades estudiadas según la modalidad de producción.  
Table 2. Number of greenhouses sampled in the study sites according to the production substrates.

Modalidad de producción	Nº invernaderos / Localidad				Total de Nº muestras
	VT	CO	JA	SJO	
1. Suelo	12	3	16	7	38
2. CBA+CA	Df	Df	4	df	4
3. CBA+FIC	df	1	df	df	1
4. CBA <sub>100</sub>	5	8	2	1	16
5. CBA <sub>70</sub> +CA <sub>20</sub> +GR <sub>10</sub>	df	Df	2	df	2
6. CBA <sub>70</sub> +GR <sub>30</sub>	8	15	30	20	73
7. CBA <sub>75</sub> +AR <sub>25</sub>	df	Df	4	df	4
8. FIC+AOrg	df	Df	1	df	1
9. FIC <sub>100</sub>	2	Df	2	15	19
10. FIC <sub>80</sub> +CBA <sub>20</sub>	df	Df	7	df	7
11. FIC <sub>50</sub> +CBA <sub>40</sub> +GR <sub>10</sub>	df	1	df	df	1
Total	27	28	67	43	166

1- CBA= carbonillo de cáscara de arroz, GR=grava, FIC=fibra de coco, CA=cascarilla de arroz, AR=arena, AOrg=abono orgánico. 2- VT=Villa Trina, CO=Constanza, JA=Jarabacoa, SJO= San José de Ocoa. 3- df=Dato faltante. 4- \*Los números indicados como subíndices en los sustratos indican los porcentajes en que son mezclados por los productores.

#### Determinaciones de biomasa microbiana y respiración basal en suelos y sustratos

Las determinaciones biológicas y de actividad microbiana se realizaron en el Laboratorio de Protección Vegetal de la Estación Experimental Mata Larga del Idiaf, donde se evaluaron los parámetros CB, NB y RB por triplicado. Para la determinación del C y N en la biomasa microbiana y la respiración basal, las muestras de suelo y sustratos se homogenizaron y luego se tamizaron a través de una malla de 2 mm y se pre-incubaron durante 7 días con la finalidad de acondicionar la muestra y promover la actividad microbiana.

Para la determinación de CB y de NB de las muestras incubadas se utilizó el método de Fumigación-Extracción (FE) con cloroformo (CH<sub>3</sub>Cl). La FE se desarrolló utilizando la metodología propuesta por Brookes *et al.* (1985) y Vance *et al.* (1987). Todos los análisis se efectuaron en triplicado pesando 50 g de suelo húmedo en frascos de 15 mL. De éstos, 25 g fueron fumigados y 25 g no se fumigaron (controles).

Se colocaron envases con muestra húmeda de suelo y/o sustrato en un desecador, junto con un matraz con 25 mL de cloroformo libre de etanol (CH<sub>3</sub>Cl), luego se sometió a vacío con una bomba hasta que se obtuvo la ebullición del cloroformo. Las muestras contenidas en el desecador se colocaron en la oscuridad y a una temperatura de 25 °C durante 24 horas. Transcurridas las 24 hs el CH<sub>3</sub>Cl se removió en varias ocasiones, y la muestra se transfirió a otro envase para su extracción con K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5 M. La muestra se filtró y se obtuvo la alícuota para la determinación del CB proveniente de la biomasa (Alef & Nannipieri, 1995).

La determinación del CB, se realizó tomando 20 mL de los extractos de muestras fumigadas y no fumigadas y se le añadió 5 mililitros de dicromato de potasio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) y 15 mL de la mezcla (2:1 v/v) de ácido sulfúrico: ácido fosfórico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) en un matraz de 250 mL. La mezcla se sometió a reflujo durante 45 min a 15 libras de presión, se dejaron enfriar y el dicromato de potasio residual se determinó por titulación con sulfato ferroso amoniacal 0,2 N agregando de 6 a 7 gotas de la solución indicadora de ortofenantrolina con sulfato ferroso (Alef & Nannipieri, 1995). El carbono de la biomasa fue calculado como:

Biomasa - C = 2,64 x [(Carbono orgánico extraído con K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> del suelo fumigado) - (Carbono orgánico extraído con K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> del suelo no fumigado)] (Vance *et al.*, 1987) (Ecuación 2). Los resultados se expresaron en base en la masa de sustrato seco (mg C kg ss<sup>-1</sup>).

Para la determinación del NB las muestras fueron extraídas con K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5 M. El N total de las muestras fumigadas y no fumigadas se determinó por el método de destilación Kjeldahl (Brookes *et al.*, 1985). Para la lectura del N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> se recolectaron unos 20 mL del destilado, previo a la adición de 0,2 g de MgO preliminarmente calcinado, posteriormente se adicionó 0,2 g de aleación Devarda (Aluminio: 44% - 46% - Cobre: 49% - 51% - Zinc: 4% - 6%) para la lectura del N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y se recolectaron 20 mL del mismo destilado en una misma muestra. El destilado se recogió sobre 5 mL de ácido bórico con indicador mixto (rojo de metilo al 0,1% y azul de metileno al 0,1%) y se valoró

en una solución de 0,005 N de  $H_2SO_4$  de concentración. El NB fue calculado como la diferencia entre la muestra fumigada y no fumigada, dividida por un factor de 0,45.

La RB se estimó por la cuantificación de la producción de  $CO_2$  capturado en una trampa de alcalina preparada con NaOH. Las muestras se incubaron aeróbicamente durante 28 días en envases de cristal, uno con 20 mL de NaOH 1M para atrapar el  $CO_2$  generado por la respiración de la muestra y el otro con 20 mL de agua destilada para mantener la humedad de las muestras. El NaOH se precipita con  $BaCl_2$  y se le adicionan dos gotas de fenolftaleína al 1%. El color morado indica pH básico por la formación de  $BaCO_3$  y NaCl. Se tomaron muestras por triplicado los días 1, 2, 4, 7 y 10 de incubación y se titularon con HCl 0,5 M para cuantificar el volumen de hidróxido que no reaccionó con el  $CO_2$  (Anderson, 1982). Las valoraciones en las muestras fueron calculadas en base a peso seco ( $mg CO_2 C kg ss^{-1}$ ).

#### Análisis estadístico

Los parámetros de CB, NB, y RB se analizaron utilizando el programa estadístico Infostat (2009). Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y se utilizó la prueba de Tukey al 5% para determinar las diferencias atribuidas al efecto del material (suelo o tipo de sustrato) encontrado en cada localidad.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Características físico-químicas y biológicas

Los resultados de los análisis físicos, químicos y biológicos de los suelos evaluados en las localidades estudiadas, se presentan de forma agrupada por tipo de sustrato debido a que estadísticamente no se observó diferencias significativas entre los suelos (Tabla 3). En cuanto a los valores correspondientes a los sustratos sólo se presentan aquellas combinaciones de sustratos más relevantes ( $CBA_{70} + GR_{30}$ ,  $FIC_{100}$ ,  $CBA_{100}$  y  $CB_{80} + FIC_{20}$ ) para las cuatro localidades, debido a que son los más utilizados por los agricultores en dichas localidades.

Los suelos presentaron buen contenido de materia orgánica y una fertilidad moderada, con pH desde ácido hasta ligeramente alcalino (Tabla 3). Los suelos presentan texturas variables (arcillosa, arcillo limosa, arcillo arenosa, franca, franca limosa y franco arcillosa), con una densidad aparente (Da) con un rango de 1,0 a  $1,6 g cm^{-3}$  (promedio  $1,16 g cm^{-3}$ ) y una porosidad que varía desde 31 hasta 76% (promedio 57,3%). La porosidad y Da pueden verse afectadas

debido al laboreo constante que reciben estos suelos en cada ciclo de siembra (al menos dos por año).

En los sustratos, los rangos de Da oscilaron entre 0,2 y  $1,0 g cm^{-3}$  con una media entre los cuatro sustratos de 0,2 a  $0,53 g cm^{-3}$ , en general las Da de los sustratos son inferiores a las de los suelos y con diferencias significativas, con una porosidad promedio que varió entre 77 y 90,5%, siendo superior en la  $FIC_{100}$  (Tabla 3). El pH registrado en  $CBA_{100}$  y en  $CB_{80} + FIC_{20}$  se encontraron dentro de los niveles óptimos aconsejados para el manejo de cultivo sin suelo de hortalizas. Baixauli & Aguilar (2002) destacan que en la disolución del sustrato el nivel óptimo de pH para cultivo sin suelo se sitúa en valores comprendidos entre 5,5 y 6,8, debido a que es el rango en el que se encuentran de forma asimilable la mayor parte de los nutrientes. El desarrollo del cultivo se ve afectado por una acidez o alcalinidad marcada.

En cuanto a la CE, los sustratos presentaron valores de 0,3 hasta  $11,8 mS cm^{-1}$  (Tabla 3), con promedios entre los cuatro sustratos entre 1,16 y 4,41. Se considera que valores de conductividad eléctrica superior a  $3,5 mS cm^{-1}$  son excesivamente altos para la mayoría de cultivos hortícolas, por lo que los sustratos de mayor uso en las localidades estudiadas presentaron salinidad.

Los niveles de P, K, Ca y Mg en los sustratos presentaron niveles moderados, mientras que los niveles de Fe, Mn, Cu y Zn fueron elevados (Tabla 3). Estos resultados pueden deberse a la solución nutritiva aportada junto con el agua de riego, la cual va acompañada de iones disueltos, procedentes de la disolución de los abonos empleados para la formulación de dicha solución. Muchos autores coinciden en que los sustratos más recomendados en los sistemas de cultivo sin suelo para la producción de vegetales, son aquellos que tienen una baja actividad química y que por lo tanto, apenas interfieren en la solución nutritiva aportada (Baixauli & Aguilar, 2002; Abad *et al.*, 1993).

La presencia de bacterias, hongos y actinomicetos fue superior en los sustratos con respecto a los suelos (Tabla 3). La descomposición de los sustratos es más relevante en los residuos orgánicos, siendo muy importante para el manejo de sistemas de cultivo sin suelo sustratos que tengan una baja tasa de descomposición por degradación biológica (Baixauli & Aguilar, 2002).

Tabla 3. Propiedades físicas, químicas y biológicas de suelos y de sustratos provenientes de invernaderos de producción vegetal.  
Table 3. Physical, chemical and biological properties of soils and substrates from vegetable production greenhouses.

Parámetro	Suelo	*Tipos de Sustrato (mínimo-máximo)			
		CBA <sub>70</sub> +GR <sub>30</sub>	FIC <sub>100</sub>	CBA <sub>100</sub>	CB <sub>80</sub> +FIC <sub>20</sub>
Da (g cm <sup>-3</sup> )	1,16 ± 0,020	0,52 ± 0,040	0,40 ± 0,006	0,53 ± 0,225	0,50 ± 0,120
Porosidad (%)	57,3 ± 1,700	78,70 ± 1,730	90,50 ± 0,576	77,13 ± 6,380	70,00 ± 5,350
CC (1/3 atm)	31,8 ± 2,760	42,27 ± 2,020	54,00 ± 4,063	40,93 ± 2,610	63,00 ± 3,170
PMP (15 atm)	19,90 ± 2,030	24,92 ± 1,280	32,50 ± 2,550	25,53 ± 1,700	38,00 ± 1,990
Saturación agua (%)	49,90 ± 2,620	180,80 ± 5,610	339,60 ± 51,220	185,50 ± 7,850	267,00 ± 45,100
pH	7,03 ± 0,330	7,33 ± 0,250	6,80 ± 0,190	6,48 ± 0,146	6,12 ± 0,090
MO (%)	3,02 ± 0,330	df	Df	df	df
CE (mS cm <sup>-1</sup> )	0,75 ± 0,100	4,41 ± 0,660	4,40 ± 1,380	1,16 ± 0,650	3,24 ± 0,840
N (%)	df	0,30 ± 0,040	1,20 ± 0,430	0,30 ± 0,013	0,60 ± 0,150
P (mg/kg)	28,48 ± 4,270	0,47 ± 0,070	0,46 ± 0,186	0,33 ± 0,046	0,20 ± 0,030
K (cmolc/kg ss)	1,61 ± 0,270	0,30 ± 0,090	0,43 ± 0,110	0,23 ± 0,003	0,30 ± 0,070
Ca (cmolc/kg ss)	26,15 ± 1,610	1,70 ± 0,230	2,80 ± 0,820	1,03 ± 0,170	1,19 ± 0,350
Mg (cmolc/kg ss)	4,59 ± 5,900	0,28 ± 0,050	0,56 ± 0,150	1,07 ± 0,183	0,30 ± 0,040
Fe (mg/k)	34,65 ± 4,340	37,02 ± 6,640	67,83 ± 4,400	41,7 ± 4,240	44,60 ± 5,920
Mn (mg/k)	8,25 ± 4,220	2891,27 ± 55,180	3243,50 ± 318,203	2901,13 ± 668,330	3152,00 ± 1075,200
Cu (mg/k)	6,01 ± 0,510	557,91 ± 66,870	722,50 ± 255,560	439,86 ± 105,980	403,60 ± 73,110
Zn (mg/k)	4,49 ± 0,870	70,00 ± 11,730	177,03 ± 64,123	69,43 ± 28,760	114,90 ± 28,890
Bacterias (Log UFC g <sup>-1</sup> )	4,29 ± 0,050	6,12 ± 0,102	6,40 ± 0,136	6,25 ± 0,075	6,40 ± 0,130
Hongos (Log UFC g <sup>-1</sup> )	3,14 ± 0,110	4,03 ± 0,111	4,50 ± 0,385	3,70 ± 0,150	4,20 ± 0,150
Actinomicetos (Log UFC g <sup>-1</sup> )	3,99 ± 0,050	5,95 ± 0,117	6,06 ± 0,110	6,10 ± 1,050	6,00 ± 0,150
Nemátodos (Log UFC g <sup>-1</sup> )	211,70 ± 61,830	240,60 ± 6,42	585,83 ± 183,416	218,00 ± 138,00	121,40 ± 39,800

1- Los valores corresponden a las medias seguidas por el error estándar. 2- Da=densidad aparente, CC=capacidad de campo, PMP=punto de marchitez permanente, MO=materia orgánica, CE=conductividad eléctrica, N=nitrógeno, P=fósforo, K=potasio, Ca=calcio, Mg=magnesio, Fe=hierro, Mn=manganeso, Cu=cobre, Zn=zinc, ss=corresponde a suelo seco. 3- UFC=unidades formadoras de colonias. 4- CBA=carboncillo de cáscara de arroz, GR=grava, FIC=fibra de coco. 5- df=datos faltantes. 6- \*Los números indicados como subíndices en los sustratos indican los porcentajes en que son mezclados por los productores.

### Biomasa microbiana (CB y NB) y respiración basal en los suelos

Los contenidos promedios de CB de los suelos provenientes de los invernaderos de VT mostraron diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0,05$ ), con respecto a los suelos de CO, JA y SJO. Los suelos de JA reportaron mayor contenido de CB (325 mg C kg<sup>-1</sup> ss), siendo estadísticamente similar a los contenidos de CB reportados en los suelos de CO (263 mg C kg<sup>-1</sup> ss) (Tabla 4). Los valores determinados en este estudio, se encuentran en el mismo rango (167-300 mg C kg<sup>-1</sup>) que los valores reportados por López en Chile (2006) y similares a los informados por Zagal y Córdova (2005) en suelos de la Serie Diguillin, Chile (273 y 551 mg C kg<sup>-1</sup>).

Las diferencias en cuanto al contenido de CB en los suelos probablemente se deben a la disponibilidad de C y a las condiciones de humedad y temperatura de las distin-

tas localidades. Asimismo, es probable que ante las condiciones más favorables existentes durante el período de riego, ocurra una mayor diversidad funcional de los microorganismos (Degens, 1988; Marschner *et al.*, 2002). Raich & Schlesinger (1992) informaron el efecto beneficioso de la precipitación sobre la mineralización del carbono. Otro factor que pudo favorecer la presencia de microorganismos en estos suelos es el contenido de MO, si se observa la Tabla 3, el porcentaje de MO se encuentra entre 2 y 4%, lo que permite presuponer que la riqueza de los microorganismos pudiera estar relacionada con dicho factor, debido a que el mismo representa el principal reservorio de energía para los microorganismos (De Luca, 1998).

Los valores de CB decrecen con la profundidad del suelo (Ekelund *et al.*, 2001; Fierer *et al.*, 2003), siendo superiores en los primeros 10 cm, ya que este horizonte recibe el mayor flujo de MO y por tanto, se produce una mayor

Tabla 4. Biomasa microbiana (CB y NB) y respiración basal presente en suelos provenientes de invernaderos de producción vegetal en las localidades estudiadas.

Table 4. Microbial biomass (CB and NB) and basal respiration present in soils from vegetable production greenhouses in the different locations.

Parámetros biológicos	Localidades			
	VT	CO	JA	SJO
CB ( mg C kg <sup>-1</sup> ss)	173,8 ± 2,89 c	263,4 ± 0,48 ab	324,8 ± 15,54 a	258,5 ± 21,27 b
NB ( mg N kg <sup>-1</sup> ss)	31,4 ± 1,96 c	45,5 ± 0,49 cb	60,9 ± 2,62 ab	69,1 ± 5,93 a
RB (mg CO <sub>2</sub> -C kg <sup>-1</sup> ss)	250,0 ± 5,80 b	281,3 ± 11,99 a	134,2 ± 3,42 c	234,8 ± 4,29 b

1- Los valores corresponden a las medias seguidas por el error estándar. 2- Medias con una letra común en una misma fila no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ), Tukey HSD. 3. ± Más/menos. 4- CB= carbono biomásico, NB= nitrógeno biomásico y RB= respiración basal. 5-ss=corresponde a suelo seco. 6- VT= Villa Trina, CO= Constanza, JA= Jarabacoa y SJO= San José de Ocoa.

actividad biológica. La biomasa microbiana medida como C biomásico se puede utilizar como un indicador sensible al manejo (Timan *et al.*, 1999) y a la toxicidad debido a pesticidas, metales y otros contaminantes antropogénicos (Paul *et al.*, 1999).

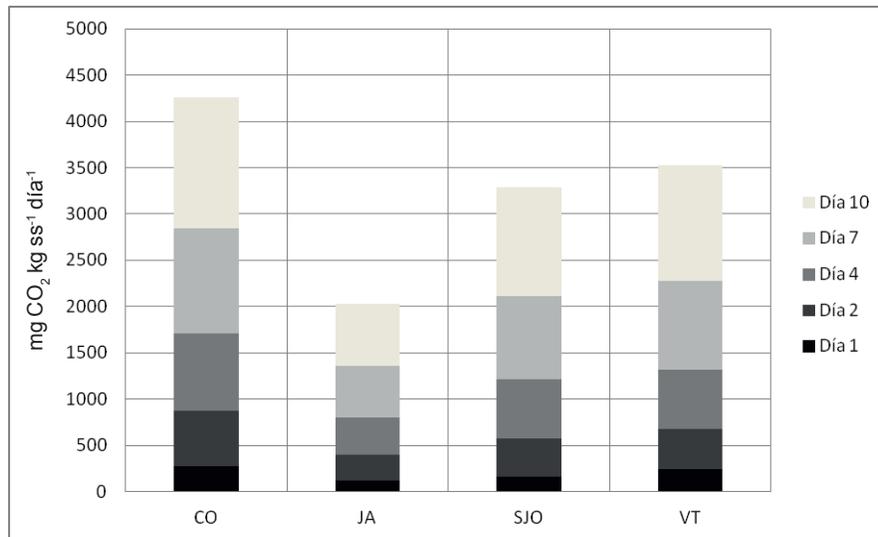
Los contenidos promedios de NB de los suelos provenientes de los invernaderos de Villa Trina mostraron diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0,05$ ), con respecto a los suelos de JA y SJO; mientras que los suelos de SJO mostraron diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0,05$ ) con respecto a los suelos de CO. Los suelos de SJO, reportaron mayor contenido de NB (69 mg N kg<sup>-1</sup> ss), siendo estadísticamente similar a los contenidos de NB reportados en los suelos de JA (61 mg N kg<sup>-1</sup> ss; Tabla 4). Estos valores se encuentran en el rango reportado por Sterren *et al.* (2002), los cuales encontraron valores de NB en suelos entre 20 y 75 mg N kg<sup>-1</sup>. Sin embargo, los valores obtenidos por Alvear *et al.* (2006) son superiores, teniendo un rango de actividad entre 50-260 mg N kg<sup>-1</sup>, esto se debe a que los suelos manejados bajo cero labranza tienen una mayor actividad biológica, igual ocurre con los resultados obtenidos por Zagal y Córdova (2005). Los suelos destinados a la producción en invernadero son suelos muy trabajados en cuanto a la labranza se refiere, por lo que los resultados obtenidos son congruentes con los reportados por Groffman *et al.* (2001), en donde los suelos de sitios sin perturbar presentan mayores niveles de biomasa microbiana con respecto a los suelos de sitios perturbados o convertidos.

Los contenidos promedios de RB de los suelos provenientes de los invernaderos de VT y SJO mostraron dife-

rencias estadísticas significativas ( $p \leq 0,05$ ), con respecto a los suelos de JA y CO, siendo estos últimos diferentes entre sí, estadísticamente ( $p \leq 0,05$ ). Los suelos de VT y SJO, reportaron mayor contenido de RB (250 y 235 mg CO<sub>2</sub>-C kg<sup>-1</sup> ss) y menor valor encontrado en los suelos de JA (134 mg CO<sub>2</sub>-C kg<sup>-1</sup> ss; Tabla 4).

La Figura 1 muestra la RB acumulativa en suelos provenientes de invernaderos de producción vegetal, durante un período de diez días de incubación. El mayor desprendimiento acumulativo de CO<sub>2</sub> se observó en los suelos provenientes de CO (1406 mg CO<sub>2</sub> C kg<sup>-1</sup> ss). Los suelos de VT y SJO mostraron un comportamiento similar a través del tiempo. El menor desprendimiento acumulativo de CO<sub>2</sub> se observó en JA (671 mg CO<sub>2</sub> C kg<sup>-1</sup> ss). La RB diaria registrada fueron superiores a los valores reportados por Acosta *et al.* (2006), donde obtuvieron valores de 91 mg CO<sub>2</sub> C kg<sup>-1</sup> ss día<sup>-1</sup> y Gómez & Paolini (2006) quienes reportaron valores de hasta 24 mg CO<sub>2</sub> C kg<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>.

La respiración basal en el suelo corresponde a la producción de CO<sub>2</sub> por el metabolismo de los microorganismos que viven dentro de la matriz del suelo (Anderson, 1982). En suelos previamente utilizados en la producción de banano en Costa Rica, Acuña *et al.* (2006) reportaron valores de RM de hasta 500 mg de CO<sub>2</sub> C kg<sup>-1</sup>, los cuales son valores superiores a los reportados en este estudio. Estas diferencias pueden atribuirse a la pérdida de fertilidad en los suelos utilizados en la producción de vegetales en invernaderos en el país, debido a la eliminación de la capa superficial para el establecimiento de las estructuras.



1- CO= Constanza, JA= Jarabacoa, SJO= San José de Ocoa, VT= Villa Trina.

Figura 1. Respiración basal acumulativa (RBC) en suelos provenientes de invernaderos de producción vegetal durante un período de diez días de incubación.

Figure 1. Cumulative basal respiration (RBC) in soils from vegetable production greenhouses during a period of ten days of incubation.

#### Biomasa microbiana (CB y NB) y respiración basal en los sustratos

La Tabla 5 presenta los contenidos promedios de CB NB y la RB registrados en los diferentes sustratos provenientes de invernaderos con producción vegetal. Los sustratos se compararon entre sí para cada uno de los parámetros biológicos.

Los contenidos promedios de CB encontrados indican que los sustratos CBA<sub>70</sub>+CA<sub>20</sub>+GR<sub>10</sub> (585 mg C kg<sup>-1</sup> ss) y FIC<sub>80</sub>+CBA<sub>20</sub> (431 mg C kg<sup>-1</sup> ss) fueron estadísticamente superiores ( $p < 0,05$ ) que el resto de los sustratos evaluados. Los valores promedios mínimos y máximos de CB oscilaron entre 129 y 585 mg C kg<sup>-1</sup> ss (Tabla 5).

Tabla 5. Biomasa microbiana (CB y NB) y respiración basal registrado en los diferentes sustratos provenientes de invernaderos de producción vegetal.  
Table 5. Microbial biomass (CB and NB) and basal respiration recorded in the different substrates from vegetable production greenhouses.

*Sustrato	Recuento	CB (mg C kg <sup>-1</sup> ss)		NB (mg N kg <sup>-1</sup> ss)		RB (mg CO <sub>2</sub> -C kg <sup>-1</sup> ss)	
CBA + CA	4	183,2 ± 38,88	b	54,9 ± 1,66	bc	193,7 ± 2,24	bc
CBA + FIC	1	129,4 ± 70,81	b	71,7 ± 11,61	ab	216,4 ± 2,24	bc
CBA <sub>100</sub>	16	182,4 ± 15,92	b	29,8 ± 4,02	c	244,6 ± 12,84	ab
CBA <sub>70</sub> + CA <sub>20</sub> + GR <sub>10</sub>	2	585,1 ± 107,38	a	77,6 ± 3,05	a	177,8 ± 5,39	c
CBA <sub>70</sub> + GR <sub>30</sub>	73	184,6 ± 10,32	b	40,1 ± 1,97	abc	230,0 ± 7,37	bc
CBA <sub>75</sub> + AR <sub>25</sub>	4	251,5 ± 11,73	b	73,8 ± 0,88	a	140,0 ± 2,35	c
FIC + Aorg	1	162,0 ± 70,81	b	40,4 ± 11,61	abc	354,8 ± 2,24	a
FIC <sub>100</sub>	19	143,8 ± 5,52	b	47,8 ± 4,03	abc	325,0 ± 13,81	a
FIC <sub>50</sub> +CBA <sub>40</sub> +GR <sub>10</sub>	1	128,6 ± 70,81	b	17,5 ± 11,61	abc	257,7 ± 1,85	abc
FIC <sub>80</sub> + CBA <sub>20</sub>	7	430,6 ± 15,57	a	43,4 ± 4,14	abc	192,4 ± 2,24	bc
Total	128						

1- CBA=carbonillo de cáscara de arroz, GR=grava, FIC=fibra de coco, CA=cascarilla de arroz, AR=arena, AOrg=abono orgánico, 2- Medias con una letra común en una misma columna no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ), Tukey HSD. 3- \*Los números indicados como subíndices en los sustratos indican los porcentajes en que son mezclados por los productores, 4- ± =Más/menos. 5-CB= carbono biomásico, NB=nitrógeno biomásico y RB= respiración basal.

Los contenidos promedios de NB registrados indican diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0,05$ ) en el sustrato  $CBA_{70} + CA_{20} + GR_{10}$  ( $78 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ ss}$ ) con respecto a  $CBA_{100}$  y  $CBA_{70} + GR_{30}$  ( $30$  y  $40 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ ss}$ , respectivamente), siendo estadísticamente superior en el primero. El  $CBA_{100}$  ( $30 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ ss}$ ) mostró diferencias estadísticas ( $p \leq 0,05$ ) con respecto a la  $FIC_{100}$  ( $48 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ ss}$ ). Los valores promedios mínimos y máximos de NB oscilaron entre  $18$  y  $78 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ ss}$  (Tabla 5).

La RB promedio registrada en los sustratos fue estadísticamente superior en  $FIC + Aorg$  ( $355 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ ss}$ ) y en  $FIC_{100}$  ( $325 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ ss}$ ), sin embargo estos sustratos no fueron estadísticamente diferentes de  $FIC_{50} + CBA_{40} + GR_{10}$  ( $258 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ ss}$ ) y  $CBA + FIC$  ( $245 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ ss}$ ). Los valores promedios mínimos y máximos de RB oscilaron entre  $140$  y  $355 \text{ mg C kg}^{-1} \text{ ss}$  (Tabla 5). Rad *et al.* (2004) reportan que las actividades de los microorganismos dependen de las características del suelo o del material orgánico y de las especies existentes, principalmente a nivel de rizósfera y horizontes superficiales.

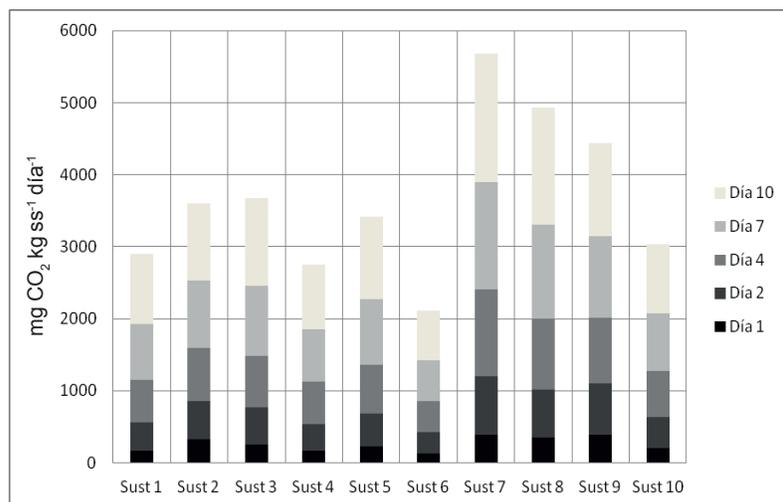
La Figura 2 muestra la RB acumulativa en los sustratos provenientes de invernaderos de producción vegetal, durante un período de diez días de incubación. El mayor desprendimiento acumulativo de  $\text{CO}_2$  se observó en sustratos preparados con fibra de coco como elemento principal del sustrato, esto se observa en:  $FIC + AOrg$  ( $1774 \text{ mg}$

$\text{CO}_2 \text{ C kg}^{-1} \text{ ss}$ ),  $FIC_{100}$  ( $1625 \text{ mg CO}_2 \text{ C kg}^{-1} \text{ ss}$ ) y  $FIC_{50} + CBA_{40} + GR_{10}$  ( $1289 \text{ mg CO}_2 \text{ C kg}^{-1} \text{ ss}$ ). Sólo  $FIC_{80} + CBA_{20}$  mostró un comportamiento similar a sustratos preparados con carboncillo de cáscara de arroz en mezcla con cáscara de arroz ( $CBA_{70} + CA_{20} + GR_{10}$  y  $CBA + CA$ ). Los sustratos preparados con carboncillo de arroz en mayor proporción tuvieron valores acumulativos desde  $700$  hasta  $1223 \text{ mg CO}_2 \text{ C kg}^{-1} \text{ ss}$ .

## CONCLUSIONES

Se encontró una variación en los contenidos de CB, NB y en la RB de los suelos estudiados. Los mayores valores de CB se observaron en la localidad de Jarabacoa (JA) y los menores valores en Villa Trina (VT). Con respecto a los contenidos de NB se registraron promedios superiores en San José de Ocoa (SJO) y Jarabacoa e inferiores en las localidades restantes. Sin embargo, la actividad microbiana, evaluada a través de la RB, fue significativamente mayor en la localidad de Constanza (CO). La actividad microbiana, está influenciada por el manejo del suelo dentro del invernadero, a su vez asociada a diferencias en temperatura, humedad y características de las localidades estudiadas.

Los contenidos de CB fueron superiores en los sustratos  $CBA_{70} + CA_{20} + GR_{10}$  y  $FIC_{80} + CBA_{20}$  con respecto al resto de los sustratos estudiados. Con respecto a los contenidos de



1-Sust = sustrato, 2- Sust 1 =  $CBA + CA$ , Sust 2 =  $CBA + FIC$ , Sust 3 =  $CBA_{100}$ , Sust 4 =  $CBA_{70} + CA_{20} + GR_{10}$ , Sust 5 =  $CBA_{70} + GR_{30}$ , Sust 6 =  $CBA_{75} + AR_{25}$ , Sust 7 =  $FIC + Aorg$ , Sust 8 =  $FIC_{100}$ , Sust 9 =  $FIC_{50} + CBA_{40} + GR_{10}$ , Sust 10 =  $FIC_{80} + CBA_{20}$ .

Figura 2. Respiración basal acumulativa (RBC) en sustratos provenientes de invernaderos de producción vegetal durante un período de diez días de incubación.

Figure 2. Cumulative basal respiration (RBC) in substrates from vegetable production greenhouses during a period of ten days of incubation.

NB, el sustrato CBA<sub>70</sub>+CA<sub>20</sub>+GR<sub>10</sub> registró la mayor actividad microbiana. La RB fue superior en los sustratos que tuvieron mayor proporción de fibra de coco en la mezcla.

La actividad microbiana registrada en los sustratos evaluados fue relevante, esto indica que es posible que los sustratos que se están utilizando (o sus proporciones en cuanto a la cantidad de material orgánico e inerte) no sean los adecuados para el uso de soporte en la producción de vegetales en condiciones de invernaderos. Los microorganismos compiten con la raíz por oxígeno y nutrientes, pueden degradar el sustrato en menor tiempo del que el productor ha planificado utilizarlo, podría reducir sus características físicas (como porosidad y densidad aparente) y disminuir su capacidad de aireación, pudiendo producir la posterior asfixia radicular.

## RECONOCIMIENTOS

Se agradece el financiamiento provisto por FONDOCYT en el proyecto MESCOT-IDIAF 2008-2-D3-027 del Ministerio de Educación Superior Ciencia y Tecnología; al Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF); al investigador Ingeniero C.A. Martínez y E. Avilés Quezada por su colaboración en la investigación; a los propietarios de los invernaderos de Villa Trina, Constanza, Jarabacoa y San José de Ocoa, República Dominicana.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acosta-Martínez, VD; D Acosta-Mercado; D Sotomayor-Ramírez & L Cruz-Rodríguez. 2008. Microbial communities and enzymatic activities under different management in semiarid soils. *Appl. Soil Ecol.* 38: 249-260.
- Acosta, Y & J Paolini. 2006. Dinámica de la biomasa microbiana (C y N) en un suelo de la península de Paraguaná tratado con residuos orgánicos. Universidad de Zulia, Venezuela, *Multiciencias* 6(2): 180-187.
- Acuña, O; W Peña; E Serrano; LE Pocasangre; F Rosales, E Delgado, J Trejos & A Segura. 2006. Importancia de los microorganismos en la calidad y salud de suelos bananeros. *En: Memorias de ACORBAT*, Joinville, Sta. Catarina, Brasil, 20-26 Octubre, 2006. pp. 222 - 233.
- Alvear, M; M Pino; C Castillo; C Trasar-Cepeda & F Gil- Sotres. 2006. Efecto de la cero labranza sobre algunas actividades biológicas en un Alfisol del sur de Chile. *Revista de las Ciencias del Suelo y Nutrición Vegetal* 6: 38-53.
- Alef, K & P Nannipieri. 1995. *Methods in applied Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press. London. 382-386 p.
- Anderson, JPE. 1982. Soil respiration. *In: AL Page; RM Miller y DR Kenny (eds)*. *Methods of soil analysis, chemical and microbiological properties*. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA. Part II. 2<sup>nd</sup> ed. Agronomy 9. p. 831-871.
- Baixaui, C & J Aguilar. 2002. Cultivo sin suelo de hortalizas: aspectos prácticos y experiencias. Serie divulgación técnica No. 53. Valencia (España), Generalitat Valenciana. 110 p.
- Brookes, PC. 1985. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biol. & Biochem.* 17: 837-842.
- Brookes, PC; A Landman; G Pruden & DS Jenkinson. 1985. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biol. Biochem.* 17(6): 837-842.
- Burés, S. 1997. *Sustratos*. Ediciones Agrotécnicas SL. Madrid, España. 342 p.
- Carrasco, J; J Riquelme; A Torres & J Pasten. 2005. Vaporización de sustratos para la producción de plántulas de especies hortícolas. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA Raihuen. Talca, Chile. Cartilla Divulgativa, 8p.
- Chaussod, R; B Nicolardot; G Catroux & J Chretien. 1986. Relations entre les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques de quelques sols cultivés. *Science du Sol*, 24: 213-226.
- Clark, FJ. 1965. Agar-Plate Method for total microbial count Part 2. Chemical and microbiological properties. (DD Evans, JL White, LE Ensminger & FE Clark, eds.), Vol. 9, pp. 1460-1466. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin USA.
- Day, RP. 1965. Hydrometer method of particle size analysis. pp. 545-552. *In: Methods of soil analysis*. Agronomy 9. ASA. USA. Degens, B. 1998. A novel approach for assessing the pattern of catabolic potential of soil microbial communities. *In: H. Insam & A. Rangger. (eds.) Microbial communities*. Springer, Berlin, Alemania. pp 206-214.
- De Luca, TH. 1998. Relationship of 0,5 m K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> extractable anthrone-reactive carbon to indices of microbial activity in forest soils. *Soil Biology & Biochemistry* 30(10): 1293-1299.
- Ekelund, F; R Ronn & S Christensen. 2001. Distribution with depth protozoa, bacteria and fungi in soil profiles from three Danish forest sites. *Soil Biology and Biochemistry* 33: 475-481.
- Fernández, SP. 1996. Determinación del tamaño muestral. Unidad de Epidemiología Clínica y Bioestadística. Complejo Hospitalario Juan Canalejo. A Coruña. *Cad Aten Primaria*. 3: 138-14. Consultado el 18/02/2011 [En: http://www.fisterra.com/mbe/investiga/9muestras/tamano\\_muestral2.pdf](http://www.fisterra.com/mbe/investiga/9muestras/tamano_muestral2.pdf)
- Fierer, N; JP Schimel & PA Holden. 2003. Variations in microbial community composition through two soil depth profiles. *Soil Biology and Biochemistry* 35: 167-176.
- Gómez, Y & J Paolini. 2006. Actividad microbiana en suelos de sabanas de los Llanos Orientales de Venezuela convertidas a pasturas. *Rev. Biol. Trop.* 54: 273-285.
- Hesse, PR. 1971. *Total the Kjeldahl process*. A textbook of soil chemical analysis. Murray. Great Britain, 520 p.
- IDIAF (Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales). 2008. Diagnóstico de la fertilidad del suelo y la nutrición de plantas para el manejo sostenible de la agricultura. Santo Domingo, DO. 72p.
- Infostat. 2009. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

- Jackson, LE; JP Schimel & MK Firestone. 1989. Short-term partitioning of ammonium and nitrate between plants and microbes in an annual grassland. *Soil Biol. Bioch.* 21: 409-415.
- Klute, A. 1986. Water retention: Laboratory methods. p. 635-662. In: Klute, A. (ed.). *Methods of soil analysis. Physical and mineralogical methods.* Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin, USA.
- López, ERS. 2006. Evaluación del efecto de molibdeno sobre algunos parámetros bioquímicos del suelo y la planta en Andisoles del sur de Chile. Universidad de La Frontera, Temuco, Chile. 131 p.
- Lemaire, F. 1997. The problem of bioestability in organic substrates. *Acta Horticulturae* 450: 63-69.
- Marschner, P; G Neumann; A Kania; L Weiskopf & R Lieberei. 2002. Spatial and temporal dynamics of the microbial community structure in the rhizosphere of cluster roots of white lupin (*Lupinus albus* L.). *Plant Soil* 246: 167-174.
- Papadopoulos, AP. 1991. Growing greenhouse tomatoes in soil an soilless media. Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa, ON. Publ. 1865/E.
- Paul, EA; D Harris; MJ Klug & RW Ruess. 1999. The determination of microbial biomass. In: GP Robertson; DC Coleman; CS Bledsoe, and P Sollins: *Standard soil methods for long-term ecological research.* Oxford University Press. New York. Pp. 291-317.
- Pérez, A; I Almonte; E Avilés; C Martínez; G López & P Núñez. 2010. Caracterización de sustratos utilizados en la producción de vegetales en invernaderos. 46 Reunión anual de la Sociedad Caribeña de Cultivos Alimenticios (CFCS). Hotel Oasis Hamaca, Boca Chica, República Dominicana. Julio 11 al 17, 2010. *Proceed. Car. F. Soc.* 46: 67-72.
- PROMEFRIN (Programa de Mercados Frigoríficos e Invernaderos). 2010. Estadísticas del programa de Mercados frigoríficos e Invernaderos (PROMEFRIN). Consultado el 03/03/2011. En: [http://www.promefrin.org/paginapromefrin1/Estadisticas/estadisticas\\_2004\\_2008.pdf](http://www.promefrin.org/paginapromefrin1/Estadisticas/estadisticas_2004_2008.pdf)
- Qui, SJ & XT Ju. 2010. Effect of unrestricted nitrogen and irrigation application on soil carbon and nitrogen pools in greenhouse vegetable systems. *Better Crops*. 94: 29-31.
- Rad, C; J Arroyo; D Pérez-Alonso; D Rodríguez-Unamuno; S González-Carcedo & J Iturrondobeitia. 2004. The role of organic matter in supporting the biological activity and the mesofaunal diversity in the upper horizon of soils with different levels of disturbance. In: [www.bodenkunde.uni-freiburg.de/urosoil](http://www.bodenkunde.uni-freiburg.de/urosoil).
- Raich, JW & WH Schlesinger. 1992. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus* 44B: 81-99.
- Richards, LA. 1947. Pressure membrane apparatus: construction and use. *Agrie, Eng.* 28: 451-454.
- Sims, JT & JS Kline. 1991. Chemical fractionation and plant uptake of heavy metals in soils amended with co-composted sewage sludge. *Journal Environmental Qual.* 20: 387-395.
- Singh, J; A Raghubanshi; R Singh & S Srivastava. 1989. Microbial biomass acts as a source of plants nutrients in dry tropical forest and savanna. *Nature* 338: 499-500.
- Sotomayor-Ramírez, D; Y Espinoza & V Acosta-Martínez. 2009. Land use effects on microbial biomass C,  $\beta$ -glucosidase and  $\beta$ -glucosaminidase activities, and availability, storage and age of organic C in soil. *Biol. Fertil. Soils* 45: 487-497.
- Srivastava, SC & JP Lal. 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.
- Sterren, C; MA Benintende; M Benintende & M Cagnani. 2002. Efecto de dos sistemas de manejo sobre algunas propiedades biológicas del suelo. *Rev. CERES.* 47(273): 533-542.
- Timan, ER; H Neufeldt; MA Ayarza & DVS Resck, W Zech. 1999. Microbial biomass, microbial activity, and carbon pools under different land-use systems in the Brazilian cerrados. In: R Thomas and M Ayarza, *Sustainable land management for the Oxisols of the Latin American savannas*, p. 187-197.
- Vance, ED; PC Brookes & DS Jenkinson. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass. *Soil Biol. Bioch.* 19: 703-707.
- Villareal, RM; ER García; ET Osuna & BA Armenta. 2002. Efecto de dosis y fuente de nitrógeno en rendimiento y calidad de poscosecha de tomate en fertirriego.
- Vischetti, C; P Perucci & C Scarponi. 1997. Rimsulfuron in soil: Effect of persistence on growth and activity of microbial biomass at varying environmental conditions. *Biogeochemistry* 39: 165-176.
- Zagal, E & C Córdova. 2005. Indicadores de calidad de la materia orgánica del suelo en un Andisol cultivado. *Agricultura Técnica* 65: 186-197.