

LOS BIOSÓLIDOS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS APLICADOS CON DIFERENTES FRECUENCIAS EN LAS PROPIEDADES QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DEL SUELO, EL RENDIMIENTO Y LA CALIDAD DE LOS FRUTOS DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* Mill)

E. Utria[✉], Inés M. Reynaldo, J. A. Cabrera, D. Morales y Sandra Goffe

ABSTRACT. This research work was carried out at the National Institute of Agricultural Sciences (INCA), with the aim of evaluating the agricultural use impact of urban sewage sludge from «Quibú» Purifying Station of Residual Waters. Biosolids obtained through anaerobic digestion and applied to a compacted Red Ferralitic soil increased oxidizing organic matter, assimilable phosphorus and changeable calcium contents. Total contents of bacteria, fungi and actinomyces became higher in the soil, whereas pathogen populations were minimal and in some cases null. On the other hand, it was observed that this organic residual had a positive influence on tomato plant production and its components, without affecting fruit quality. In general, the agricultural use of biosolids proved to be a viable choice in agricultural exploitation systems.

RESUMEN. Con el objetivo de evaluar el impacto del uso agrícola de los biosólidos de aguas residuales urbanas procedentes de la Estación Depuradora de Aguas Residuales «Quibú», se desarrolló el presente trabajo en el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). Los biosólidos obtenidos mediante digestión anaeróbica y aplicados en un suelo Ferralítico Rojo compactado incrementaron los contenidos de materia orgánica oxidable, fósforo asimilable y calcio cambiante. Aumentaron los contenidos totales de bacterias, hongos y actinomicetos en el suelo, mientras que las poblaciones de patógenos fueron mínimas y en algunos casos nulas. Por otra parte, se observó que la aplicación de este residuo orgánico influyó positivamente en la producción de plantas de tomate y sus componentes, sin alterar la calidad de los frutos. De forma general, se demostró que el uso de los biosólidos con fines agrícolas es una alternativa viable en los sistemas de explotación agrícola.

Key words: wastewater, microorganisms, yield, tomato

Palabras clave: aguas residuales, microorganismos, rendimiento, tomate

INTRODUCCIÓN

Debido a los problemas ecológicos y económicos provocados por el uso intensivo e inadecuado de los fertilizantes minerales, la agricultura mundial en los últimos años está encaminada a lograr una agricultura sostenible, sobre la base de obtener altos rendimientos con aplicación de bajos insumos de estos productos y ha revitalizado la idea de hacer uso de productos de origen orgánico (1). Por otra parte, la necesidad de preservar el ambiente libre de contaminación exige la depuración de las aguas residuales antes de ser vertidas a los cauces receptores, generando en este proceso elevadas canti-

dades de residuos orgánicos llamados lodos de depuradoras, biosólidos o fangos (2). El volumen de producción de estos residuos llega a convertirse en un grave problema en ciudades muy pobladas y su disposición se hace cada vez más urgente a medida que el crecimiento demográfico se incrementa (3).

En Cuba, en la actualidad los volúmenes de biosólidos no son tan elevados, aunque se proyecta que en un período de 10 años se terminen y entren en funcionamiento las plantas de los ríos Luyanó y Martín Pérez, además de otras inversiones previstas dentro del programa de recuperación de la Bahía de La Habana, lo cual produciría un incremento en la producción anual de biosólidos de 10 000 y 15 000 toneladas (4).

A escala internacional, el uso agrícola de los biosólidos con sus distintas variantes es la más adecuada. En Cuba existen algunos trabajos que evidencian que esta opción para la evacuación de los biosólidos se está incrementando, fundamentalmente en la producción de plantas ornamentales y forestales.

Dr.C. E. Utria y Sandra Goffe, Profesores Auxiliares de la facultad Agroforestal de Montaña del Centro Universitario de Guantánamo (CUG), carretera Guantánamo a Santiago km 1 1/2, Guantánamo; Dra.C. Inés M. Reynaldo y Dr.C. D. Morales, Investigadores Titulares del departamento de Fisiología y Bioquímica Vegetal; Dr.C. J. A. Cabrera, Investigador Titular del departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), gaveta postal 1, San José de las Lajas, La Habana, Cuba, CP 32 700.

✉ eutria@fam.cug.co.cu

Con esta práctica se aumenta el contenido de materia orgánica MO (5) y nutrientes esenciales para las plantas (6), y se disminuye el peligro que representan estos residuos como contaminantes del ambiente.

La aplicación de biosólidos al suelo incrementa la producción de biomasa y el rendimiento de los cultivos (7); sin embargo, dicha aplicación presenta algunos aspectos negativos, tales como la presencia de metales pesados (MP) y microorganismos patógenos, siendo la presencia de MP su principal factor limitante (8, 9, 10).

Por otro lado, en busca de un mayor ahorro económico, estos residuos se deben aplicar en los lugares más cercanos a las plantas depuradoras de donde son obtenidos, representando una fuente potencial de MO y nutrientes para los sistemas de explotaciones agrícolas en áreas urbanas (hortalizas, huertos intensivos, organopónicos, patios, jardinería, entre otros).

Por esta razón se escogió el tomate para esta investigación, cultivo ampliamente establecido a escala internacional y que en Cuba constituye la principal hortaliza, tanto por el área que ocupa como por su producción y comprende aproximadamente el 50 % del área total de estas, sembrándose en el 2005 aproximadamente 60 000 hectáreas (11) y es ampliamente utilizado como planta indicadora debido a que es exigente a niveles de nutrición mineral apropiados (12).

Teniendo en cuenta lo planteado con anterioridad y la problemática que implica la acumulación y disposición inadecuadas de biosólidos en el suelo, y el uso potencial de un material enriquecido en materia orgánica y elementos esenciales para las plantas, se propuso como objetivo de este trabajo evaluar el efecto de la aplicación de biosólidos en las propiedades químicas y microbiológicas de un suelo Ferralítico Rojo compactado, y la respuesta del rendimiento y la calidad de los frutos de plantas de tomate.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en el área central del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), ubicado en el municipio San José de las Lajas de la provincia de La Habana. El suelo utilizado se clasifica como Ferralítico Rojo compactado éutrico (13) y sus niveles totales de metales pesados se presentan en la Tabla I.

Tabla I. Niveles totales de metales pesados en un suelo Ferralítico Rojo compactado éutrico utilizado en el experimento

Metales pesados	Media	Intervalo de confianza
Fe, %	8,61	8,58-8,64
Cu, mg.kg ⁻¹	87,67	84,45-90,85
Zn, mg.kg ⁻¹	76,67	73,34-80,00
Cr, mg.kg ⁻¹	17,0	16,00-18, 00
Ni, mg.kg ⁻¹	44,0	42,47-45,53
Mn, mg.kg ⁻¹	0,40	0,397-0,403
Co, mg.kg ⁻¹	36,67	33,34-39, 40
Pb, mg.kg ⁻¹	< LD	

Nivel medio de metales pesados \pm error estándar. LD: límites de detección

Los biosólidos utilizados procedieron de la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) "Quibú" del municipio Marianao, Ciudad de La Habana, los que son obtenidos mediante un proceso de digestión anaeróbica y su producción varía de 413,39-521,26 toneladas anuales. La procedencia de estos residuos es fundamentalmente de origen residencial y sus niveles de metales pesados (MP) se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos por las normas de ecología mexicana (14) y el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación 1990 de España (15) para su uso agrícola. Sus características se presentan en la Tabla II.

Previo a este trabajo investigativo se realizó un experimento, en el cual se evaluó la respuesta del desarrollo vegetativo de plantas de tomate a la aplicación de diferentes dosis de biosólidos, donde se observaron los mejores resultados en las plantas desarrolladas en el suelo tratado con 135 y 150 g biosólidos por kg⁻¹ de suelo; de estas dosis se decidió seleccionar para la realización del presente trabajo las de menor tasa (135 g biosólidos por kg⁻¹ de suelo) y se aplicó al suelo con diferentes frecuencias.

Para esto se estableció un diseño completamente aleatorizado y se llevó a cabo un experimento durante tres años (2002, 2003 y 2004) en canteros de hormigón de 2,55 m de largo por 0,64 m de ancho y 0,80 m de altura. En el primer año, para la realización de la investigación se utilizó suelo de la capa superficial (0 - 20 cm), secado al aire y tamizado con una malla de 5 mm de diámetro y los biosólidos fueron molinados y tamizados por una malla de 2 mm. Para la preparación de las mezclas de suelo con biosólidos al inicio de cada año, el suelo fue depositado en una plataforma de cemento y se le adicionó la cantidad de biosólidos necesaria para formular las dosis deseadas; posteriormente se voltearon varias veces para homogenizarlas, en el segundo y tercero los biosólidos se dispusieron sobre el suelo y se procedió a incorporarlos manualmente. La fertilización mineral en el primer año de experimentación se realizó solo a base de urea (46 % de N), teniendo en cuenta que los contenidos de P y K en el suelo eran adecuados. En los dos años restantes la fertilización nitrogenada, fosfórica y potásica se realizó con urea, superfosfato triple (46 % de P₂O₅) y cloruro de potasio (62 % de K₂O) respectivamente, de acuerdo con lo que establece el Instructivo técnico del MINAGRI (16) y en todos los casos se aplicó fraccionadamente (17).

Las semillas de tomate variedad INCA 9 (1) fueron sembradas a un marco de plantación de 0,50 m entre hileras por 0,30 m entre plantas, para un total de 18 plantas por cantero; se utilizaron dos canteros por tratamiento. Los tratamientos estudiados se presentan en la Tabla III.

Para el análisis químico y microbiológico del suelo se tomaron tres muestras a una profundidad de 0-20 cm de la superficie del suelo al final del tercer año de la investigación. Para la determinación de los contenidos totales de Ca, Mg, P y K del suelo y la mezcla suelo con biosólidos, se realizaron las extracciones de K, Ca y Mg intercambiables con la solución de acetato de amonio (NH₄OAc) 1N a pH 7 y el P asimilable con H₂SO₄ 0,1 N.

Tabla II. Características químicas de los biosólidos estudiados

Indicador	Media	Intervalo de confianza	Indicador	Media	Intervalo de confianza
MO, %	42,35	39,34-45,36	Fe, %	2,09	1,99-2,19
Ca ²⁺	8,84	7,3-10,38	Cu, mg.kg ⁻¹	337,67	332,5-342,84
N	2,6	1,9-3,3	Zn, mg.kg ⁻¹	135,0	61,82-208,18
P	1,35	1,11-1,59	Cr, mg.kg ⁻¹	79,37	68,76-89,98
Mg ²⁺	0,84	0,62-1,06	Ni, mg.kg ⁻¹	59,5	52,98-66,02
K ⁺	0,76	0,49-1,03	Mn, mg.kg ⁻¹	55,67	54,24-57,10
pH	7,12	6,99-7,25	Co, mg.kg ⁻¹	18,83	16,66-21,00
Relación C/N	10/1	8/1-14/1	Pb, mg.kg ⁻¹	< LD	-

LD: límite de detección

Tabla III. Tratamientos estudiados en el experimento

Tratamientos	Descripción
S	Suelo natural (los tres años de experimentación)
F	Suelo tratado con fertilizante mineral (los tres años de experimentación)
B ₁₃₅ Primer	135 g biosólidos.kg ⁻¹ de suelo, aplicado solo el primer año (1)
B ₁₃₅ Alternos	135 g biosólidos.kg ⁻¹ de suelo, aplicado en años alternos (1 y 3)
B ₁₃₅ Consecutivos	135 g biosólidos.kg ⁻¹ de suelo, aplicado tres años consecutivos (1, 2 y 3)

Las determinaciones se realizaron para los contenidos de Ca y Mg por volumetría, mediante valoración con EDTA, el P por el método colorimétrico, mediante el desarrollo del color azul del complejo molibdofosfórico a longitud de onda de 660 nm y el K por fotometría de llama, comparado con la emisión producida por las soluciones patrones, utilizando la metodología descrita en la literatura (18).

La MO oxidable se determinó según el método descrito por Walkley y Black; se expresaron los resultados en porcentajes de materia orgánica oxidable y el pH por el método potenciométrico con una relación sólido: agua de 1:2,5.

Para los análisis microbiológicos en los sustratos, se utilizó el método indirecto por conteo en placas de Petri para cada dilución y tipo de microorganismos. El número de unidades formadoras de colonias (UFC) se obtuvo por conteo directo en cada una de las placas; posteriormente se determinó la media y finalmente el número de microorganismos por gramo (g) de suelo para cada tipo y el valor obtenido se multiplicó por el factor de dilución. En todos los casos, se utilizaron tres muestras del sólido (suelo, biosólidos y sus mezclas) y tres placas por muestra.

Los medios de cultivo utilizados para el conteo del número total de bacterias (agar nutriente), hongos (agar Malta) y actinomicetos (agar almidón amoniaco) fueron descritos (19) y los nitro fijadores totales según se ha descrito con anterioridad (20).

La cuantificación de los microorganismos patógenos se realizó según las normas cubanas (21), que aparecen a continuación las determinaciones de:

- ⇒ Coliformes totales y fecales (NC 38-02-14:89).
- ⇒ *Staphylococcus aureus* (NC 38-02-10:88).
- ⇒ *Pseudomonas aeruginosa* (NC 93-01-129:88).
- ⇒ *Salmonellas sp* (NC 38-02-13:91).

En cuanto al rendimiento y sus componentes para evaluar el número de frutos (u.planta⁻¹), se realizó la cuantificación de los frutos de cada planta individualmente por tratamiento y se utilizó el valor promedio; para la masa fresca promedio de los frutos (g.fruto⁻¹), se seleccionaron al azar 20 frutos maduros por tratamiento, se tararon y luego se promedió el valor; para el rendimiento (g.planta⁻¹), se seleccionaron al azar 20 plantas por tratamiento. Estas plantas fueron monitoreadas desde el inicio hasta el final de la cosecha, se determinaron la masa fresca en todos sus frutos en las recolecciones efectuadas y luego se calculó el valor promedio de la producción por cada planta.

Para la evaluación de la calidad de los frutos se muestrearon tres grupos de 10 frutos por tratamiento tomados al azar y se realizaron las siguientes determinaciones:

- ☞ contenido de sólidos solubles (Brix) (%): por el método refractométrico en el sobrenadante del material centrifugado a 2000 rpm x 20 minutos
- ☞ acidez titulable (%): se obtuvo a partir de una alícuota de 25 mL del sobrenadante por titulación potenciométrica con NaOH 0,1 N hasta alcanzar pH 8,1.

Para la evaluación de las variables mencionadas anteriormente, se siguió la metodología descrita por Camacho y Ríos (22).

- ☞ porcentaje de materia seca (%): los frutos seleccionados fueron sometidos a una temperatura de 70 ± 5°C, hasta lograr masa constante y posteriormente se determinó su porcentaje de masa seca utilizando la fórmula:

$$PMs = Ms/Mf \cdot 100$$

donde: PMs, porcentaje de masa seca de los frutos; Ms, masa seca de los frutos y Mf, masa fresca de los frutos

En todos los casos los resultados experimentales fueron sometidos a Análisis de Varianza, según el diseño

experimental empleado y se comprobó previamente la normalidad de los datos por la prueba de Kolmogorov-Smirnov y la homogeneidad de varianza por la prueba de Bartlett. En los casos en que se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, las comparaciones de medias se realizaron según la Dócima de Tukey para el 5 % de probabilidad del error. Para el análisis estadístico fue utilizado el paquete STATGRAPHICS versión 5.0 y para realizar los gráficos el programa SigmaPlot versión 6, ambos en ambiente *Windows*.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La aplicación de biosólidos incrementó el contenido de MO oxidable, P asimilable y K, Ca, y Mg intercambiables en el suelo; en el caso de la MO y el Ca, sus magnitudes incrementaron conforme aumentó la frecuencia de aplicación de estos residuos (Tabla IV).

En general, en todos los casos, los indicadores evaluados alcanzaron los mayores valores cuando se aplicaron biosólidos tres años consecutivos, excepto el K que fue inferior al encontrado en el suelo tratado con fertilizante mineral y el Mg, que sus magnitudes fueron similares cuando se aplicó biosólidos en años alternos y los tres años consecutivos.

Las magnitudes de pH disminuyeron conforme aumentó la frecuencia de aplicaciones de biosólidos (tomaron valores ligeramente básicos), fenómeno debido a los menores valores presentes en los biosólidos con respecto al suelo natural donde fue aplicado. Resultados que corroboran los encontrados en este trabajo fueron evidenciados anteriormente (23), los que notificaron que la aplicación de biosólidos de depuradoras en el suelo tenía un efecto corrector del pH, aspecto muy importante por la implicación que tiene en la movilidad y disponibilidad de los elementos minerales en los sustratos.

El comportamiento evidenciado en las características del suelo cuando fue tratado con biosólidos, pudo deberse al contenido relativamente elevado de MO y nutrientes esenciales para las plantas, presentes en este residuo orgánico (Tabla II).

Al evaluar la influencia de la aplicación de biosólidos con diferentes frecuencias en la biomasa microbiana del suelo (Tabla V), se observó un incremento en las poblaciones microbianas, principales microorganismos encargados de la degradación de la MO y de los diferentes ciclos de los nutrientes en los suelos (bacterias, hongos y actinomicetos totales), siendo evidente la presencia relativamente elevada de bacterias encargadas de la fijación de N en los suelos, las cuales fueron estimuladas por la aplicación de biosólidos.

Tabla IV. Efecto de la frecuencia de aplicación de biosólidos en las propiedades químicas que más frecuentemente se analizan en los sustratos utilizados en trabajos de interés agronómico (en base seca)

Indicadores	Tratamientos				
	S	F	B _{135 Primer}	B _{135 Alternos}	B _{135 Consecutivos}
MO, %	2,83±0,03 d	2,86±0,12 d	4,84±0,056 c	5,88±0,09 b	8,95±0,23 a
P, mg.kg ⁻¹	110,7±2,9 e	563,0±6,1 c	413,3±17,6 d	750,0±36,5 b	1083,3±33,3 a
K	0,36±0,01 d	0,64±0,01 a	0,35±0,01 d	0,45±0,02 c	0,55±0,02 b
Ca	13,00±0,00 d	12,70±0,70 d	15,67±0,27 c	17,13±0,39 b	19,6±0,29 a
Mg	1,75±0,05 b	2,5±0,35 b	2,23±0,09 b	3,97±0,15 a	4,46±0,19 a
pH	8,20±0,00 a	8,27±0,03 a	7,95±0,02 b	7,70±0,00 c	7,50±0,00 d

Tabla V. Efecto de la aplicación de biosólidos con diferentes frecuencias en las poblaciones microbianas del suelo

Microorganismos	Tratamientos				
	S	F	B _{135 Primer}	B _{135 Alternos}	B _{135 Consecutivos}
Bacterias totales	5,8 x 10 ⁵	5,3x10 ⁵	8,5x10 ⁵	1,5x10 ⁶	6,7x10 ⁶
Hongos totales	9,3x10 ⁴	3x10 ⁴	2,9x10 ⁵	4,4x10 ⁵	5,8x10 ⁵
Actinomicetos totales	4,5x10 ³	3,6x10 ³	1x10 ⁴	6,3x10 ⁴	9,2x10 ⁵
Nitro fijadores totales	10 ³	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁵
Coliformes totales	<1x10	<1x10	<1x10	<1x10	<1x10
Coliformes fecales	0	0	0	<1x10	<1x10
<i>Staphylococcus aureus</i>	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	negativa	negativa	negativa	negativa	negativa
<i>Salmonella spp.</i> (4 UFC.g ⁻¹ muestra)	negativa	negativa	negativa	negativa	negativa

Microorganismos ± error estándar. UFC, Unidades formadoras de colonias. S, suelo natural; F, suelo tratado con fertilizante mineral y B_{135 Primer}, 135 g biosólidos.kg⁻¹ de suelo aplicado sólo el primer año; B_{135 Alternos}, 135 g biosólidos.kg⁻¹ de suelo aplicado en años alternos y B_{135 Consecutivos}, 135 g biosólidos.kg⁻¹ de suelo aplicado tres años consecutivos

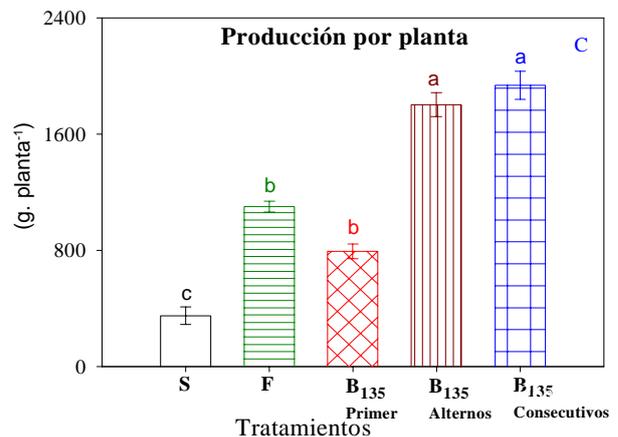
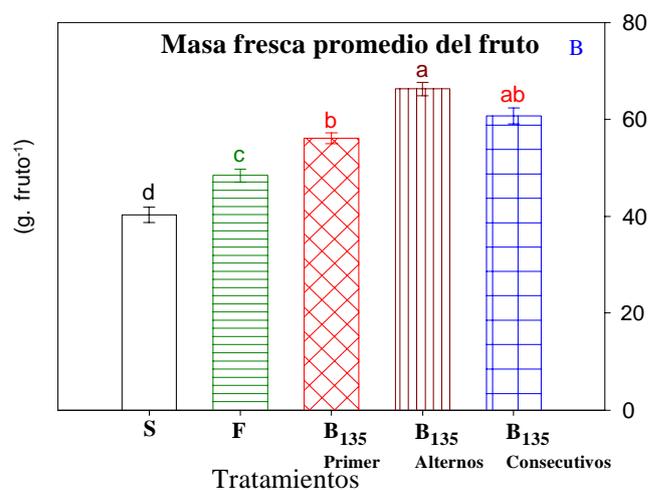
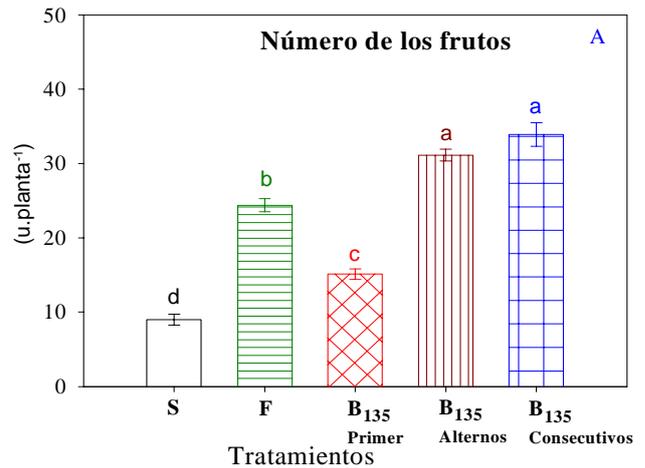
Otro de los beneficios de estos microorganismos es que ellos son capaces de sintetizar sustancias biológicamente activas (auxinas, citoquininas, giberelinas, aminoácidos, enzimas y vitaminas) que estimulan el desarrollo de las plantas. Dentro de las enzimas excretadas por los microorganismos se pueden encontrar algunas que oxidan MP y lo convierten en compuestos no asimilables por las plantas, hecho que ya fue informado (24); esta última propiedad es utilizada actualmente como una tecnología promisoriosa por la Comunidad Científica Internacional para descontaminar los suelos de MP y es llamada comúnmente biorremediación.

Las poblaciones de microorganismos patógenos (coliformes totales, coliformes fecales, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella spp.*) se encuentran en magnitudes relativamente bajas en todos los sustratos y no se observaron marcadas influencias provocadas por la aplicación de biosólidos, aunque no se pueden tener criterios acerca de estos resultados, debido a la no existencia de un consenso entre las comunidades mundiales en cuanto a la definición de límites máximos permisibles para suelos de uso agrícola (25, 26). Además, un factor a tener en cuenta es que la persistencia de estos microorganismos en el suelo varía de 5-90 días después de su aplicación, aspecto que ya fue informado (27).

En la Figura 1 se aprecia, de forma general, que cuando se aplicaron biosólidos dos años alternos y tres consecutivos, se lograron los mayores valores en el número, la masa fresca de los frutos y la producción por plantas.

En el caso específico de la producción, las plantas cultivadas en el suelo tratado con biosólidos dos años alternos y tres consecutivos obtuvieron las mayores magnitudes, donde no se observaron diferencias significativas entre ellos y superaron en 81,9 % a la producción de las plantas cultivadas en el suelo natural (S), en 43,15 % a las cultivadas en el suelo tratado con fertilizante mineral (F) y en 59 % a las cultivadas en el suelo tratado con biosólidos solo el primer año de experimentación.

Es válido destacar que la aplicación de biosólidos solo en el primer año de experimentación ($B_{135} \text{ Primer}$) provocó que al final del experimento no existieran diferencias significativas entre la producción de las plantas desarrolladas en este sustrato y el que se aplicó fertilizante mineral (F). De esta forma, se evidencia el efecto residual de la aplicación de biosólidos en la producción de las plantas tres años después de su aplicación, con resultados similares a los obtenidos con la fertilización mineral efectuada anualmente. En este sentido, algunos (28) informaron del efecto residual de la aplicación de biosólidos al trabajar con plantas de *Eucalyptus sp.*; este experimento arrojó como resultado que la aplicación de este residuo surtió su mayor efecto en la quinta y sexta cosechas.



S, suelo natural; F, suelo tratado con fertilizante mineral y $B_{135} \text{ Primer}$, 135 g biosólidos.kg⁻¹ de suelo aplicado sólo el primer año; $B_{135} \text{ Alternos}$, 135 g biosólidos.kg⁻¹ de suelo aplicado en años alternos y $B_{135} \text{ Consecutivos}$, 135 g biosólidos.kg⁻¹ de suelo aplicado tres años consecutivos. I, error estándar

Figura 1. Número de frutos, masa seca de los frutos y producción de las plantas de tomate desarrolladas en un suelo Ferralítico Rojo tratado con biosólidos

El comportamiento evidenciado pudo deberse a que los biosólidos tienen a su vez un beneficio adicional al de los fertilizantes minerales, ya que no solo proporcionan nutrientes esenciales para las plantas de forma inmediata (formas inorgánicas), sino que son capaces de liberarlos de forma gradual (formas orgánicas); en consecuencia, pueden ser aprovechados mejor por las plantas y también por los cultivos sucesivos, además del efecto positivo que tiene la MO en las propiedades físicas de los suelos (29, 30) y en las poblaciones microbianas encargadas de su degradación y de los ciclos de los nutrientes en los suelos, efecto que también fue evidenciado por los que estudian la temática (31, 32).

Otro beneficio adicional que tiene la aplicación de biosólidos al suelo, es que no solo aporta macronutrientes esenciales para las plantas, sino que con la adición de este material orgánico se realizan aportaciones considerables de micronutrientes. En este sentido, algunos (24) informaron que generalmente cuando los biosólidos se aplican en dosis suficientes para suplir las necesidades de N de las plantas, las necesidades de micronutrientes también son suplidas.

La aplicación de biosólidos no tuvo un efecto notable en la acidez, el contenido de sólidos solubles totales (Brix) y el porcentaje de masa seca de los frutos de tomate, al no observarse diferencias significativas entre tratamientos (Tabla VI).

Estos resultados son muy importantes, pues al no alterarse drásticamente la calidad de los frutos, se puede prescindir de la fertilización mineral y utilizar los biosólidos como una alternativa agroecológica, para aumentar la producción de tomate sin afectar su calidad, máxime si se consideran las exigencias actuales y la preferencia de la comunidad internacional por consumir productos ecológicos, tal como han indicado varios autores (33) al estudiar diferentes alternativas nutricionales en este cultivo.

microorganismos encargadas de la degradación de la materia orgánica y los ciclos de los nutrientes en los sustratos, mientras que la población de microorganismos patógenos fue mínima y en algunos casos nula.

- ❖ La adición de biosólidos al suelo no solo mejora sus propiedades químicas a corto plazo, sino que su efecto se prolonga por más de un año, aspecto que se refleja positivamente en la producción de las plantas y no altera la calidad de los frutos.

REFERENCIAS

1. Younie, D. y Walkenhorst, M. Sustained animal health and consumer product safety in organic agriculture. *Schweiz Arch Tierheilkd*, 2004, vol. 146, no. 5, p. 239-241.
2. Miralles, R.; Beltrán, E.; Porcel, M. A.; Beringola, M. L.; Martín, J. V.; Calvo, R. y Delgado, M. M. Influencia de tres tipos de biosólidos de estaciones depuradoras en el desarrollo de estaquillas de olivo. *Rev. Int. Contam. Ambient.*, 2002, vol. 14, no. 4, p. 163-169.
3. Evers, P.; Schmitt, F.; Albrecht, D. R. y Jardin, N. The Ruhrverband sewage sludge disposal concept in the conflict between European and German standards and regulations. *Water Sci Technol.*, 2005, vol. 52, no. 10-11, p. 247-253.
4. Miralles, R.; Beltrán, E.; Porcel, M. A.; Beringola, M. L.; Valero, J.; Calvo, R. y Delgado, M. Disponibilidad de nutrientes por el aporte de tres tipos de lodo de estaciones depuradoras. *Rev. Int. Contam. Ambient.*, 2003, vol. 19, no. 3, p. 127-136.
5. Nascimento, C. W. A.; Barros, D. A. S. y Melo, E. E. C. Soil chemical alterations and growth of maize and bean plants after sewage sludge application. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, 2004, vol. 28, no. 2, p. 385-392.
6. Quilbé, R.; Serreau, C.; Wicherek, S.; Bernard, C.; Thomas, Y. y Oudinet, J. P. Nutrient transfer by runoff from sewage sludge amended soil under simulated rainfall. *Environ Monit Assess.* 2005, vol. 100, no. 1-3, p. 177-190.

Tabla VI. Calidad de los frutos de plantas de tomate desarrolladas en un suelo tratado con diferentes frecuencias de aplicaciones de biosólidos

Indicadores	Tratamientos				
	S	F	B _{135 Primer}	B _{135 Alternos}	B _{135 Consecutivos}
Acidez	0,27±0,0 ns	0,32±0,01 ns	0,35±0,02 ns	0,33±0,03 ns	0,28±0,05 ns
Brix %	4,34±0,0 ns	4,54±0,0 ns	4,54±0,0 ns	4,54±0,0 ns	4,34±0,12 ns
Masa seca en frutos	5,7±0,0 ns	5,48±0,0 ns	5,62±0,13 ns	5,55±0,11 ns	5,61±0,22 ns

Valor medio del indicador ± error estándar. S, suelo natural; F, suelo tratado con fertilizante mineral y B_{135 Primer} biosólidos aplicado solo el primer año; B_{135 Alternos}, biosólidos aplicados en años alternos y B_{135 Consecutivos} biosólidos aplicados tres años consecutivos

CONCLUSIONES

- ❖ La aplicación de biosólidos al suelo aumenta su contenido de materia orgánica, fósforo asimilable y calcio cambiante, aspecto que se refleja positivamente en la producción por planta, la cual es superior a la obtenida con la aplicación de fertilizante mineral, por lo que se puede prescindir parcial o totalmente de esta.
- ❖ La aplicación de biosólidos durante tres años consecutivos influye positivamente en las poblaciones de

7. Sing, R. P. y Agrewal, M. Potential benefits and risks of application of sewage sludge. *Waste management*, 2008, no. 2, p. 347-358.
8. Wang, X.; Chen, T. Ge y Yongfeng, Y. Studies on land application of sewage sludge and its limiting factors. *Journal of hazardous material*, 2008, vol. 160, p. 554-558.
9. Bergkvist, P.; Jarvis, N.; Berggren, D. y Carlgren, K. Long-term effects of sewage sludge applications on soil properties, cadmium availability and distribution in arable soil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2003, vol. 97, no. 1-3, p. 167-179.

10. Osge, H.; Halil, H. y Niluifer, K. Evaluation for agricultural usage with speciations of heavy metals in a municipal sewage sludge. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2008, no. 1, p. 42-46.
11. FAO. FAOSTAT Database Query. [Consultado 4/2/2006]. Disponible en: <<http://faostat.fao.org/faostat/form?collection=Production.Crops.Primary&Domain=Production&servlet=1&hasbulk=&version=ext&language=ES>>, 2005.
12. Hernández, M. I. y Chailloux, M. La nutrición mineral y la biofertilización en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Temas de Ciencia y Tecnología*, 2001, vol. 15, no. 3, p. 11-27.
13. Cuba. Minagri. Instituto de Suelos. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. La Habana. AGRINFOR, 1999. 64 p.
14. NOM-004-ECOL-2001. Norma Oficial Mexicana, Protección ambiental; lodos y biosólidos; especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. SEMARNAT. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 18 de febrero de 2002.
15. Real decreto 1310/1990, de 29 de octubre (1990/26490, por la que se regula la utilización de los Lodos de depuración en el sector agrario). BOE 263/1990 de 01-11-1990, p. 32339. M^o de Agricultura Pesca y Alimentación.
16. Cuba. MINAGRI. Carta tecnológica del cultivo del tomate, 1990.
17. Gómez, O.; Casanova, A.; Laterrot, H. y Anais, G. Mejora genética y manejo del cultivo del tomate para la producción en el Caribe. Eds R. C. Alvarezsar y W. Calderón, 2000, 159 p.
18. Jackson, M. L. Análisis químicos de suelos. La Habana: Edición Revolucionaria, 1970, 662 p.
19. Atlas, R. M. Handbook of Microbiological Media. Boca de Ratón: CRC Press, 1993. 1079 p.
20. Pazos, M. Aislamiento e identificación de cepas nativas, pertenecientes al género *Azospirillum* mediante técnicas moleculares. [Tesis de Maestría]; U.H., 2000, 50 p.
21. Norma cubana. Experimental-obligatoria. Peloides. Especificaciones Muds. Specification: Oficina Nacional de Normalización (NC) Calle E No. 261 Vedado, Ciudad de la Habana Teléf: 30-8048. Consultado [10/02/08]. Disponible en: <http://www.sld.cu/galerias/doc/sitios/mednat/norma_cubana_peloides.doc>. 2008.
22. Camacho, S. y Ríos, D. Factores de calidad de algunas frutas cultivadas en Colombia. *Revista Publicación Científica del Instituto Colombiano Agropecuario*, 1972, vol. 7, no. 1, 32 p.
23. Rato J.; Cabral, F. y López-Piñeiro, A. Short term effects on soils properties and wheat production from secondary paper sludge application on two Mediterranean. *Bioresource Technology*, 2008, vol. 99, no. 11, p. 4935-4942.
24. Bader, J. L.; González, G.; Goodell, P. C.; Ali, A. S. y Pillai, S. D. Aerobic reduction of hexavalent chromium in soil by indigenous microorganisms. *Bioremed. J.*, 1999, vol. 3, no. 3, p. 201-211.
25. Gale, P. Land applications of treated sewage sludge: quantifying pathogen risk from consumption of crops. *Journal of Applied Microbiology*, 2005, vol. 98, no. 2, p. 380-396.
26. Graczyk, T.; Lucy, F.; Tamamang, L. y Miraflor, A. Human enteropathogens load in activated sewage sludge and corresponding sewage sludge and products. *Applied and Environmental Microbiology*, 2003, vol. 6, p. 2013-2015.
27. Reilly, M. The case against land application of sewage sludge pathogens. *The Canadian Journal of Infectious Diseases*, 2007, vol. 12, no. 4, p. 205-207.
28. Gasco, G. y Lobo, M. C. Composition of a Spanish sewage sludge and effects on treated soil and olive trees. *Waste Management*, 2007, vol. 27, no. 11, p. 1494-1500.
29. Peruca, V. M.; Beutler, A. N.; Souza, Z. M. de; Centurión, J. F. y Wanderley, J. M. Atributos físicos de Latossolos adubados durante cinco años con biosólido. *Pesq. Agropec. Bras.*, 2004, vol. 39, no. 1, p. 67-72.
30. Silva, J.; Lima, E.; Silva, P. S.; Oliveira, M.; Barbosa, E. y Silva, K. M. Efeito de esterco bovino sobre os rendimentos de espigas verdes e de gras de milho. *Horticultura Brasileira. Brasilia*, 2004, vol. 22, no. 2, p. 326-331.
31. Quereshi, S.; Richards, B. K.; Steenhuis, T. S.; McBride, M. B.; Baveye, P. y Dousset, S. Microbial acidification and pH effects on trace element release from sewage sludge. *Environmental Pollution*, 2004, vol. 132, p. 61-71.
32. Sánchez, M. A.; Mondini, C.; Nobili, M. de.; Leita, L. y Roig, A. Land application of biosolids. Soil response to different stabilization degrees of the treated organic matter. *Waste Management*, 2004, vol. 24, p. 325-332.
33. Terry, E. Microorganismos benéficos y productos bioactivos como alternativa para la producción ecológica de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), variedad Amalia. [Tesis de Grado]; INCA, 2005, 103 p.

Recibido: 19 de febrero de 2008

Aceptado: 2 de diciembre de 2008