

MANEJO SOSTENIBLE DE SUELOS EN LA AGRICULTURA CUBANA

**Francisco Martínez¹, Clara García¹, Luis A. Gómez¹, Yulaidis Aguilar²,
Rafael Martínez-Viera⁺³, Nicasio Castellanos⁴ y Mario Riverol¹**

¹Instituto de Suelos Minag, Cuba; ²Agencia de Medioambiente Citma, Cuba; ³Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical (Inifat), Cuba; ⁴Dirección estatal de suelos Minag, Cuba. Email: fmartinez@isuelos.cu

Resumen

La Estrategia Ambiental, identificó a la degradación de suelos como uno de los cinco problemas ambientales principales de Cuba, basándose en los resultados de más de 30 años de investigación científica sobre la situación de los suelos, bosques, recursos hídricos y calidad de la atmósfera. En éste trabajo se analizan, a partir de la importancia de la conservación y mejoramiento de suelos para la nutrición mineral de las plantas, las principales estrategias utilizadas por los productores cubanos para resolver los problemas derivados de la aplicación indiscriminada de tecnologías agresivas en nuestros suelos y el déficit de los fertilizantes minerales que se produce por una parte, por los efectos de contaminación que provoca su uso indiscriminado y por otra las dificultades económicas enfrentadas por el país producto de la caída del campo socialista. Se proporcionan elementos sobre el manejo de nutrientes realizadas en la agricultura cubana bajo los principios de la agricultura ecológica y sus principales resultados, destacándose los altos niveles de producción y uso de los abonos orgánicos y biofertilizantes logrados y la cantidad de áreas beneficiadas con la aplicación de medidas temporales y permanentes de conservación de suelos, lo que ha permitido mantener en niveles aceptables la fertilidad de los mismos, producciones con rendimientos satisfactorios, mayor calidad de los productos y una incidencia directa sobre la economía de los productores y sobre el medio ambiente.

Palabras clave: Degradación de suelos, mejoramiento, alternativas ecológicas.

Summary

Sustainable management of soils in Cuban agriculture

The Cuban environmental strategy has identified the soils degradation like one of the main five environmental problems of Cuba, based on the results of more than 30 years of scientific research, on the situation of soils, forests, hidric resoures and quality of atmosphere. In this paer it work is analyzed, starting from the importance of the conservation and improvement of soils for the mineral nutrition of the plants, the main strategies used for the Cuban agricultural producers to solve the derived problems from the indiscriminate application of aggressive technologies in our soils and the deficit of the mineral fertilizers that takes place for the effects of contamination caused for its indiscriminate use and on the other hand, for the economic difficulties faced by the country after the collapse of the socialist block. Elements are given, on the management of nutrients carried out in the Cuban agriculture under the principles of the ecological agriculture and their main results, outstanding the high production levels and use achieved from the organic manures and biofertilizantes and the quantity of areas benefitted with the application of temporary and permanent measures of soil conservation, which has allowed to maintain acceptable levels of fertility with satisfactory yields, a better quality of the products and a direct positive incidence on the economy of the farmers and benefits to the the environment.

Key words: Soils degradación, soils improvement, ecological alternatives.

1. Introducción

Uno de los retos que enfrenta la agricultura cubana es detener los procesos que degradan los suelos, que permita

establecer un sistema agrícola sostenible, capaz de solventar la creciente demanda alimentaria de la población.

La degradación del suelo no solo provoca afectaciones en el aspecto sociopolítico, con la emigración de personas

Tabla 1.- Variaciones en los contenidos de materia orgánica de los suelos (g/kg) (Instituto de Suelos 1999).

Grupos de suelos	Año 1926		Año 1975	
	Bennett y Allison		Mapa básico 1:50 000	
	Valor medio	Rango	Valor medio	Rango
I. Arenosos	28,0	21,8 – 35,4	20,0	9,9 – 31,9
II. Latosolizados	47,0	31,6 – 73,5	27,3	16,3 – 37,8
IV. Calcáreos	74,1	57,8 – 96,2	33,4	23,4 – 43,4
V. Montmorilloníticos	47,6	29,0 – 67,2	27,2	19,8 – 38,6

hacia lugares productivos, en el orden medio ambiental con la contaminación de las aguas, la extinción de las especies, el incremento de áreas desérticas y otros, sino además en el orden económico, ya que son necesarias inversiones cada vez mayores para mantener los niveles de producción (Pla Sentís 2002, Riverol y Aguilar 2015).

El papel preponderante del suelo, en el sistema, motiva que su conservación y mejoramiento tengan un impacto decisivo, desde los puntos de vista económico, medioambiental y social (Riverol *et al.* 1999 y 2001).

En Cuba antes de 1492 toda la isla estaba cubierta de bosques, los suelos eran vírgenes y las comunidades indígenas vivían en equilibrio con la naturaleza, pero a partir de esa fecha hay un período de cuatro siglos como colonia de España, donde comienza a desarrollarse la agricultura, fundamentalmente el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*). Se inicia la tala de los bosques, la quema de los residuos y la degradación de los suelos hace su aparición, fundamentalmente la pérdida acelerada de sus reservas orgánicas.

Posteriormente Cuba pasa a ser neocolonia norteamericana por un período de cincuenta y siete años, el cual fue decisivo en la depauperación acelerada de los suelos. Si en cuatro siglos de colonización española había desaparecido la mitad de los bosques, en apenas cincuenta años sólo quedó el 14% de ellos, con la consecuente intensificación de los procesos erosivos y la pérdida de la fertilidad de los suelos, por la no aplicación de medidas para la detención de estos procesos la conservación y mejoramiento de los mismos.

Esta situación se agravó al surgir los grandes latifundios dedicados la mayoría al cultivo de la caña de azúcar. Se impone de esta forma el monocultivo y su acción degradante del suelo y no existió la voluntad política para frenar estos efectos negativos.

Al triunfo de la revolución de inmediato comienza una labor de concientización de los decisores y productores, sobre la necesidad de protección de los recursos naturales, no obstante, los latifundios se nacionalizaron y se crearon las grandes empresas estatales socialistas. Las cuales como modelo de desarrollo "moderno" tuvieron como características la introducción de gran cantidad de maquinarias pesadas, equipos de riego, alta aplicación de productos químicos, persistencia del monocultivo y otras prácticas degradantes (uso excesivo de agrotóxicos 1 300 000 toneladas de fertilizantes y más

de 80 millones de dólares en plaguicidas, importación de 600 000 toneladas de concentrados, disponibilidad de más de 90 000 tractores y un poderoso parque de maquinaria pesada) (Hernández *et al.* 2007). No obstante, al mismo tiempo se crearon Institutos de investigaciones que se dedicaron al estudio de los suelos y de las medidas para la conservación y mejoramiento de su fertilidad natural.

El uso reiterado e indiscriminado de estas prácticas han provocado que un 60 % de los suelos cubanos tengan contenidos de materia orgánica de bajo a muy bajo (Rodríguez 2016). En la tabla 1 se comparan los valores de materia orgánica en los suelos cubanos obtenidos por los especialistas norteamericanos Bennett y Allison entre 1920 y 1927 (una etapa donde la explotación agrícola de nuestros suelos era mucho menos intensa), con los valores obtenidos 50 años después.

Los altos niveles de agrotecnologías aplicados a partir de entonces, y las deficientes o inexistente aplicación de medidas para su conservación, han agravado la situación agroproductiva de nuestros suelos, la cual, determinada tomando como referencia 10 cultivos principales que reúnen un amplio diapasón de requerimientos edafológicos, entre ellos su fertilidad natural, en ella el 67% de los suelos se agrupan en la categoría III y IV (medianamente productivo y poco productivo respectivamente) (Base de datos del mapa nacional de los suelos publicado a escala 1: 25000). En estos suelos no se logra alcanzar el potencial productivo de los cultivos.

Por lo anterior y en correspondencia con las dificultades económicas que ha enfrentado el país, se han tenido que buscar alternativas para frenar este fenómeno, mantener los rendimientos de los cultivos, mejorar la calidad de los suelos y compensar además la falta de fertilizantes minerales. Entre estas alternativas se encuentran, la aplicación de medidas temporales y permanentes antierosivas, utilización de diferentes portadores de materia orgánica en los suelos, la búsqueda de una mayor eficiencia en el aprovechamiento de estos portadores, el empleo de los abonos verdes, el uso de los biofertilizantes (Fuentes y Martínez 2015), todas las cuales han constituido una tarea de primer orden para los productores, funcionarios y científicos que de una u otra forma intervienen en el proceso de producción agrícola cubano, donde se pone énfasis en la sustentabilidad ecológica a largo plazo más que en la productividad a corto plazo.

Tabla 2.- Principales áreas afectadas por factores limitantes (Instituto de Suelos 1989)

Factores	Millones de hectáreas	% del área
Salinidad y Sodicidad	1,0	14,9
Erosión (fuerte a media)	2,9	43,3
Mal drenaje	2,0	40,3
Con mal drenaje interno	1,8	26,9
Baja fertilidad	3,0	44,8
Compactación elevada (natural o provocada)	1,6	23,9
Acidez (pH KCl < 6.0)	2,7	40,3
Muy bajo contenido de M.O.	4,7	69,6

2. Distribución espacial de los suelos de Cuba

Los estudios de suelos realizados a diferentes escalas en el territorio nacional, y que incluyen cuatro inventarios nacionales, determinan que existe una gran variabilidad en la cobertura del archipiélago cubano debido a la compleja situación geológica y geomorfológica que les dio origen. Según la Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba (Instituto de Suelos 1999) nuestros suelos se ubican en 14 agrupamientos. Los suelos que ocupan mayor área son: los Pardos sialíticos que representan el 27 % del área estudiada con 2,4 MM ha; los Ferralíticos con 16,7 % del área y 1,5 MM ha y los Vertisuelos con 1,0 MM ha que representan un 11,6 % del área.

Los resultados de los estudios realizados en el ámbito nacional en la década del 80 respecto a todos los cultivos de importancia económica muestran que el 23,2 % del área estudiada se clasifica como productiva a muy productiva, lo que indica que pueden obtenerse rendimientos superiores al 50 % del potencial en una amplia gama de cultivos; el 76,8 % del área la constituyen suelos de poca a muy poca productividad, afectados por factores edáficos limitantes que impiden alcanzar los rendimientos potenciales, por lo que en los mismos es necesario una mayor utilización de medidas de acondicionamiento y mejoramiento de suelos para aumentar su productividad.

Para determinar la productividad de los suelos, se tomaron como base los estudios de estos y la información agroestadística de los cultivos. Estos estudios son esenciales para el diagnóstico de proyectos de factibilidad, y hacer un uso óptimo y más racional de las tierras e insumos (Riverol *et al.* 2001).

Por todo lo analizado hasta aquí se determina, que, más de un millón de hectáreas forman parte de ecosistemas frágiles en los cuales el desarrollo agrícola depende de un alto grado de eficiencia y cuidado para no romper el equilibrio existente como son, por ejemplo: las áreas montañosas con alto riesgo de erosión y las áreas costeras o de llanuras acumulativas adyacentes con riesgo de salinización (Riverol *et al.* 2001).

3. Identificación y caracterización de procesos degradativos

Los procesos de degradación en un alto por ciento se manifiestan por un inadecuado manejo y explotación de los suelos que dan lugar a la erosión, salinidad, compactación, acidez y otros procesos que limitan la productividad de los mismos (tabla 2).

3.1. Degradación de los suelos por erosión

En la actualidad, más del 40 % de los suelos cubanos presentan afectaciones por erosión (Pérez *et al.* 1990) y si se refiere a la erosión potencial, ese porcentaje se eleva hasta el 56 % (Riverol 1985, Riverol y Aguilar 2015), lo cual es alarmante si se considera que el primer signo de la reacción en cadena desatada por este factor es la disminución del rendimiento agrícola.

Las investigaciones llevadas a cabo por diferentes instituciones indican que el problema de la erosión en Cuba no tiene carácter local, sino que aunque con diferente magnitud es muy abarcador, es por ello que se reporta un total de 4 000 000 ha (Instituto de Suelos 1989) con afectaciones en todo el país, cifra que por demás tiene la tendencia a seguir incrementándose si no se toman las medidas necesarias para su control.

En algunas regiones del país se manifiestan con fuerza los procesos de erosión, entre éstas; las áreas dedicadas al cultivo del tabaco (*Nicotiana tabacum*) en Pinar del Río, generalmente sobre suelos Ferralíticos Cuarcíticos Amarillos Lixiviados (Ultisoles) figuran entre las más afectadas y otras en menor grado como los suelos Pardos Grisáceos (Inceptisoles) de las regiones centrales y orientales, dedicadas a tabaco y cultivos varios (Riverol *et al.* 2001), también en los suelos Pardos del sur y norte de La Habana, centro y oriente del país, el proceso toma lugar con cierta magnitud. Estudios realizados por el Instituto de Suelos reportan pérdidas incluso superiores a las 30 t/ha/año en los suelos Pardos Sialíticos al norte de la provincia de La Habana (Aguilar *et al.* 2001).

3.2. Degradación de los suelos por salinización

De acuerdo con la información del Instituto de Suelos (Riverol *et al.* 2001) existen en Cuba más de un millón de hectáreas de suelos salinos o salinizados, de los

cuales se calcula que 300 000 ha se dañaron por el riego con aguas de mala calidad, lo que representa aproximadamente el 14 % del área agrícola del país y el resto pueden ser de origen natural. Trabajar en función de la rehabilitación de estas áreas es importante, sin embargo, la labor preventiva es vital, debido al elevado costo de corregir esta forma de degradación.

En Cuba, el enfrentamiento de ésta problemática es de vital importancia para el desarrollo agrícola, debido a la fuerte reducción del fondo de tierras disponibles por una parte, así como del incremento de las áreas afectadas en el tiempo debido a la incidencia de errores conocidos relacionados con los problemas de manejo, como por ejemplo: extender el área de cultivos por debajo de la cota de los 10 msnm, el riego con agua de mala calidad y la ausencia de sistemas de drenaje entre otras causas.

3.3. Degradación de los suelos por acidez

Los suelos ácidos aparecen en diferentes regiones del planeta, sin embargo, en los trópicos, la acidificación de los suelos adquiere particular importancia debido a la ocurrencia de abundantes precipitaciones y a la incidencia de diferentes factores del régimen climático que propician el proceso de acidificación, todo ello influenciado por la acción antropogénica.

Entre los factores que más influyen en la acidificación de los suelos cubanos, se considera la erosión, pues se pierden grandes cantidades de suelo y con ello cuantiosas pérdidas de bases entre las cuales se destaca el calcio y el magnesio debido a su mayor abundancia relativa respecto al total de bases. Esto provoca un aumento de la concentración de iones H^+ , disminuyendo los niveles de pH e incrementando la acidificación del suelo. Según datos del Instituto de Suelos (1989) el 51 % del área total de suelos ácidos está erosionado, lo cual es una evidencia de la incidencia del factor que se analiza.

En el segundo inventario de suelos ácidos de Cuba, se registra un total de 3,6 millones de hectáreas afectadas, representadas por 14 tipos de suelos. En la región occidental ellas ocupan el 25,5 %; en la central el 28,9 % y en la oriental el 9,9 %. La extensión de ésta forma de degradación da la medida de la importancia que tiene tanto la corrección de la acidez como la prevención del fenómeno, ya que, a diferencia de las formas analizadas anteriormente, la rehabilitación de las áreas ácidas es factible debido a la influencia sobre el rendimiento y a la posibilidad de llevarla a cabo a un costo no muy elevado.

3.4. Degradación de los suelos por compactación

Hasta finales de los 90, la utilización indiscriminada de sistemas de tratamiento en los suelos para mantenerlo limpio y la intensificación de las actividades agrícolas predominaron en la agricultura cubana. Esta tendencia, unida al progresivo abandono de la utilización de diferentes fuentes orgánicas y al incremento del

uso de agroquímicos, conllevaron a un deterioro físico y químico gradual de la estructura del suelo, manifestada en: disminución de la materia orgánica, desaparición de la actividad faunística (lombrices), incremento del pH, disminución de la flora edáfica y como consecuencia, la aparición de capas compactas entre 33-17 cm.

La compactación es una forma de degradación, que afecta principalmente los suelos Ferralíticos Rojos de la Llanura Habana- Matanzas y de Ciego de Ávila (Ultisoles) y es responsable de la caída de los rendimientos en los cultivos de la papa (*Solanum tuberosum*), la caña de azúcar, viandas y vegetales.

La extensión de ésta forma de degradación, es de alta consideración y su corrección es imprescindible, lo cual se facilita por la existencia de las tecnologías apropiadas, derivadas de las investigaciones precedentes. La lucha contra este fenómeno, se fundamenta en el empleo de un sistema de labranza mínima con un cambio en el tipo de implemento, el uso de la asociación de cultivos que conlleva a la aplicación del abonado verde y el uso racional de los fertilizantes minerales.

En general las condiciones expuestas de la degradación de los suelos, podrían incrementarse, con los cambios climáticos que se evidencian, los cuales podrían tener un impacto negativo en el suelo, por la ocurrencia de reducciones de las tierras destinadas a la agricultura (Pichs *et al.* 2002). A esto se une el incremento en la frecuencia de afectaciones por eventos climáticos extremos, como las lluvias intensas y las tormentas locales severas, así como los eventos de sequía, cuya frecuencia se ha incrementado significativamente (Fernández y Pérez 2009).

Como se puede apreciar, la situación de nuestro país respecto a la degradación de las tierras es difícil; el área de 0,6 ha, que corresponde a cada habitante, está afectada en distintos grados por los factores limitantes mencionados, y el pronóstico indicaba una tendencia hacia el incremento de los niveles de degradación y de su intensidad.

Sin embargo, la situación se ha visto mejorada por los resultados alcanzados en el Programa Nacional de Mejoramiento y Conservación de Suelos (PNMCS) (Riverol *et al.* 2001), que, aunque los niveles alcanzados no son los deseados, se puede afirmar que, en gran parte de las cuencas hidrográficas de interés nacional y otras áreas, se ha detenido el desarrollo de los procesos de degradación y ha comenzado una recuperación paulatina de los suelos.

4. Niveles de ejecución de las medidas de corrección

Los primeros trabajos de conservación y mejoramiento de suelos se iniciaron en la década del 80, alcanzándose los mayores niveles de ejecución de medidas en el período 1989-92. En este período se invertían en la elaboración y ejecución de proyectos para medidas permanentes más de 30 millones de pesos entre el Minag y el Minaz hoy Azcuba.

Tabla 3.- Dinámica de las medidas de conservación y mejoramiento aplicadas (mt) (PNMCS 2017)

Medidas	Años					
	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Area física beneficiada	678	737	805	846,2	901	932
Medidas temporales	72,5	80,3	55,9	83,2	90,8	97
Medidas de mantenimiento	34,7	38,6	44,4	47,4	50,9	59,2
Medidas de acondicionamiento	182	186,4	197,1	203,2	219,1	246,9
Medidas de drenaje simple	24,2	13,8	18,4	21,9	22,7	46,5
Abonos verdes incorporados	17	17,9	15,7	17,6	24,3	19,9

La depresión económica de la década de los años 90 determinó la paralización de las medidas de carácter permanente que se venían ejecutando, aplicándose la estrategia de desarrollar medidas sencillas de conservación de suelos, como parte de la agrotecnia de los cultivos, esto provocó que los procesos de degradación se intensificaran, dada la no ejecución de medidas de carácter permanente y la no aplicación integral de los sistemas para detener los procesos degradativos (Riverol 2001).

En el año 2000 en cumplimiento de un acuerdo del Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas y en el marco del Programa de Lucha contra la Desertificación y la Sequía, teniendo en cuenta la problemática que se presentaba en los suelos respecto a su degradación y su relación con la baja productividad de los cultivos, se orientó la creación del PNMCS, bajo el auspicio de los Ministerios de la Agricultura (Minag) y de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (Citma), con la participación de diferentes organismos del país (Riverol y Aguilar 2015).

Este programa contempla la ejecución de un conjunto de medidas de forma integral para detener los procesos degradativos y comenzar la recuperación paulatina de los mismos. Las medidas están contenidas en un plan de acción que contempla entre otras las siguientes: medidas temporales, permanentes, drenaje, mantenimiento, acondicionamiento, mejoradoras, así como el uso de abonos verdes, abonos orgánicos, manejo de coberturas, monitoreo de las aguas de riego, capacitación y divulgación.

La ejecución de todas estas medidas está respaldada por un financiamiento asignado por el Estado anualmente. Se han priorizado las medidas sencillas antierosivas, tanto temporales como permanentes, la aplicación de abonos verdes y orgánicos, medidas de acondicionamiento, drenaje y monitoreo de las aguas de riego (Riverol 2001).

4.1. Superficie agrícola cultivada beneficiada por concepto de mejoramiento y conservación de los suelos

En el período 2001-2013, se han beneficiado más de 600 000 ha, destacándose el trabajo realizado en las cuencas priorizadas del país (tabla 3). Se considera como superficie agrícola cultivada beneficiada por concepto de mejoramiento y conservación de los suelos,

aquella donde se ha ejecutado el 75 % de las medidas necesarias, para contrarrestar o detener el proceso principal de degradación.

4.2. Medidas permanentes

La utilización de medidas de carácter permanente, es muy importante para lograr la eficiencia en la detención de los procesos de degradación por erosión, ya que impiden la pérdida de suelo y agua y son una guía permanente para el trazado de la surquería en los campos de cultivo. Entre las medidas de mayor uso se encuentran: la construcción de barreras vivas, tranques, terrazas con arado y otras (tabla 3).

4.3. Medidas temporales

Constituyen la base fundamental para la conservación de los suelos, al abarcar el conjunto de medidas orientadas, fundamentalmente, a prevenir los procesos de degradación. Ellas constituyen un aspecto primario y de obligatoria ejecución para que ese conjunto de medidas, rindan la efectividad deseada. Entre las que más se destacan, se encuentran la siembra en contorno o perpendicular al sentido de la mayor pendiente, el manejo de las coberturas e independencia hídrica de los campos (tabla 3), en los cuales se ha alcanzado la cifra de más de 200 000 ha anualmente.

4.4. Medidas de acondicionamiento

La utilización de estas medidas, está encaminada a conservar y mejorar, fundamentalmente, las propiedades físicas de los suelos, logrando un acondicionamiento deseado para el desarrollo de los cultivos, a través de la disminución de las labores de preparación, la descompactación, la nivelación y otras. Entre las que más se destacan, se encuentra el laboreo mínimo, la recogida de piedras y la subsolación, en los suelos situados en áreas de topografía llana, como los Ferralíticos Rojos, dedicados a cultivos varios (tabla 3).

5. Uso de plantas de cobertura y abonos verdes

Las plantas de cobertura y abonos verdes, constituyen buenos defensores del suelo, contra los procesos degradantes, fundamentalmente la erosión y la compactación. Mientras crece la planta, utilizada como abono verde y

como cobertura del suelo, este está protegido de la acción de las gotas de lluvia (Instituto de Suelos 2011). En los últimos años, se ha estabilizado la aplicación de ésta medida, debido a la conciencia que se ha ido ganando sobre su importancia práctica. En la tabla 3, aparece el ritmo de aplicación de plantas de cobertura y abonos verdes.

En Cuba el principal cereal utilizado en asocio con leguminosa es el maíz. El campesino ha logrado una combinación exitosa variando el marco de siembra. No obstante no es recomendable una receta para este principio, lo importante y recomendable es tener en cuenta las interacciones de los cultivos comprometidos en el asocio, en este caso tener definido el objetivo de la siembra de maíz en el aspecto de su consumo, ya sea en estado tierno o seco y la determinación del tiempo que corresponde al cultivo en asocio dentro de la secuencia anual (Aguilar *et al.* 2016).

Otras alternativas han consistido en el uso de la roca fosfórica que se cuenta en el país con importantes reservas y los productos confeccionados con esta han probado su efectividad incluso en suelo de pH neutro y el uso de la zeolita que también se cuenta con importantes reservas de muy buena calidad que se emplean sobre todo para elevar la eficiencia de los fertilizantes nitrogenados y para el mejoramiento de las propiedades físicas de algunos suelos. (Fuentes y Martínez 2015).

6. Situación de la materia orgánica en los suelos

A partir de la creación de los centros de investigación en el mismo inicio de la revolución cubana, estos se dedicaron al estudio de los suelos y de las medidas para su conservación. Mediante sus investigaciones se pudo determinar la reducción drástica que se produce en las reservas orgánicas de los suelos con el cambio de uso (Ponce de León 2004), que los sistemas intensivos de fertilización mineral, los sistemas de laboreo y el monocultivo producen reducción sensible de los niveles de captura de carbono y en la composición del complejo orgánico del suelo, hasta niveles degradantes (Martínez *et al.* 2001).

Además, que el uso indiscriminado de estas prácticas provoca disminución de las reservas orgánicas de los suelos, que esta no basta para el total de la microflora que existe en él, lo que provoca, que al utilizar fuentes orgánicas no estabilizadas, se altere gravemente el equilibrio y que rápidamente la casi totalidad de la fuente se combustione (Calero *et al.* 2001, Martínez y Gómez 2015). También se comprobó que el uso reiterado de estas prácticas ha provocado que el 60 % de los suelos cubanos tengan contenidos de materia orgánica de bajo a muy bajo.

Por los altos niveles de agrotecnologías aplicados a partir de entonces, es de esperar que en la actualidad la situación sea aún más crítica, sobre todo en las áreas dedicadas a cultivos varios, provocando alteraciones en la microflora edáfica y las reservas de carbono (Martí-

nez y Gómez 2015). Todo este proceso provoca la obtención de productos cada vez con menor calidad para su consumo, la contaminación del ambiente y demuestra la necesidad de tomar acciones urgentes para detener el proceso de degradación en los suelos y comenzar a introducir métodos de mejoramiento en ellos.

La aplicación de abonos orgánicos constituye una práctica tan antigua como la agricultura. En Cuba ha sido una práctica muy común la utilización de los residuos de la industria azucarera, como la cachaza (torta de filtro, que constituye el 3 o 4 % del total de la caña de azúcar que se muele), residuos de centros de acopios, y las aguas residuales de la producción de azúcar y sus derivados en los suelos, especialmente los dedicados al cultivo de la caña de azúcar. Estas resultan una importante fuente de nutrientes para las plantas y para el mejoramiento de sus propiedades físicas, según comprobaron Arzola *et al.* (1990) y Paneque y Martínez (1992).

Otra práctica muy utilizada para restituir nutrientes en los suelos es la aplicación de estiércol de diversos animales, especialmente el de ganado vacuno, el cual según Crespo y Gutiérrez (1992), si se mezcla con zeolita en proporción 8:1 (base seca), añadiendo además fosforita, se logra aumentar el nitrógeno disponible y se duplica la solubilidad del fósforo.

El compost también se utiliza de forma generalizada empleando para ello el "Método Indore" (aeróbico), el cual fue practicado por primera vez por Sir. Albert Howard, agrónomo del gobierno inglés quien estuvo en la India entre 1905 y 1934 y lo empleó para atender la necesidad de mejoramiento de los suelos y de los cultivos en la región. Los sistemas más utilizados son el compostaje en pilas y el compostaje de corral (Peña 2009). Cada sistema de compostaje puede usar los mismos residuos orgánicos, la diferencia entre uno y otro radica en la manera de preparar dichos residuales y en la forma de construcción.

Una variante muy común en Cuba es la llamada "biotierra", práctica impulsada por la Universidad Central de Las Villas (Mayea 1994), la misma se obtiene al inocular los desechos orgánicos con diversos microorganismos que contribuyen a su degradación acelerada. El producto obtenido es un abono orgánico de alta calidad que en dosis relativamente pequeñas (6-7 t/ha) produce efectos positivos.

La lombricultura es más reciente, no obstante, por su impacto productivo, económico y medioambiental ha logrado consolidarse en todo el país. Esta tecnología a partir de residuales producidos por la actividad humana, que en su mayoría constituyen contaminantes, produce humus de lombriz, considerado el mejor fertilizante orgánico del mundo y proteína para la alimentación animal y humana. A partir de su introducción en la década de los 80 ha pasado por varias etapas, las cuales han estado matizadas por factores que determinaron su avance inicial y su consolidación final.

7. Etapas en la producción de humus de lombriz y principales resultados en su aplicación

La primera etapa puede ser definida como de investigación, concientización y comienzo de su introducción en la producción. Se realizaron los primeros estudios ecológicos sobre la lombriz en la Facultad de Biología de la Universidad de la Habana, dirigidos fundamentalmente a investigar los ciclos de vida de las especies, ecología y sistemática, formas de cría en diferentes sustratos y cría masiva (Reinés *et al.* 1998). Con la introducción del primer pie de cría de lombriz procedente de Filipinas (*Perionyx excavatus*) e Italia (*Eisenia foetida*) se comienzan los estudios sobre su comportamiento y la adaptación de la tecnología para su cultivo en las condiciones climáticas de Cuba. Un papel fundamental en estos estudios lo desempeñó un grupo de investigadores dirigidos por el Dr. Jorge Ramón Cuevas del Instituto de Suelos, entonces perteneciente a la Academia de Ciencias de Cuba.

La segunda etapa puede ser definida como de introducción de la tecnología en la práctica productiva, para lo cual se construyeron 168 unidades de producción de humus de lombriz especializadas con un potencial productivo de 2 000 a 3 000 t de humus anuales a partir fundamentalmente de estiércol vacuno, por cuanto estas fueron ubicadas en las Empresas Ganaderas en todas las provincias del país. Estas unidades funcionaban totalmente mecanizadas, con el empleo de implementos adaptados o completamente desarrollados por mecanizadores cubanos, lo que permitió un aumento acelerado de la producción de humus de lombriz.

En esta etapa se ejecutó un proyecto ramal de investigaciones y un programa nacional para el desarrollo de la lombricultura en todo el país. La actividad estuvo estructurada a través de una comisión nacional, constituida por un sector administrativo (Minag) y un sector científico (centros de educación e investigaciones), apoyados por un grupo nacional de expertos en la lombricultura de diferentes instituciones (Reinés *et al.* 1998).

En síntesis, los resultados más importantes alcanzados con las investigaciones en esta etapa fueron los siguientes:

- Se determinaron los métodos analíticos más adecuados para analizar el humus de lombriz y se establecieron las características químicas y biológicas del

humus producido a partir de los residuales más importantes de Cuba (tabla 4). Se fijó además la forma correcta para almacenarlo de manera que permanezca con sus características el mayor tiempo posible (Gandarilla y Martínez 1995, Gandarilla *et al.* 2001).

- Se precisaron las dosis de humus en los siguientes cultivos: tabaco (*Nicotiana tabacum*), papa (*Solanum tuberosum*), boniato (*Ipomoea batatas*), plátano (*Musa spp.*), plantas "in vitro", de tomate (*Solanum lycopersicum*), pimiento (*Capsicum annuum*), ajo (*Allium sativum*), cebolla (*Allium cepa*), arroz (*Oryza sativa*), maíz (*Zea mays*), pasto estrella jamaicano (*Cynodon nlemfuensis*), hiera Rhodes (*Chloris gayana*), viveros de papaya (*Carica papaya*) y guayaba (*Psidium guayava*). En dependencia del tipo de suelo, las dosis oscilan entre 2-8 t/ha, con valor más frecuente de 4 t/ha, conjuntamente con el 25-50 % de la fertilización mineral que requiere el cultivo.

La aplicación del humus tiene un efecto residual sobre los rendimientos de al menos dos cosechas sucesivas en cultivos de ciclo corto, pero puede llegar hasta los tres años en plantaciones permanentes como plátano y pastos (Hernández *et al.* 1989, Caballero *et al.* 2001). A partir de estos resultados se confeccionó un Manual para la Manipulación y Uso del Humus de Lombriz (Gandarilla y Martínez 1995), que fue generalizado.

Esta segunda etapa estuvo caracterizada, por el fuerte trabajo de capacitación realizado con el personal de educación superior, los técnicos y los productores que serían los encargados de conducir el cultivo; con estos últimos el trabajo fue dirigido a estimular el uso del humus de lombriz, mediante la realización de talleres, confección de plegables, folletos divulgativos, libros y otros (Reinés *et al.* 1998, Peña *et al.* 2002, Martínez *et al.* 2003 y Arias *et al.* 2008).

La tercera etapa es de plena introducción y desarrollo de la tecnología, impulsada a partir de la depresión de la producción por las dificultades económicas que presentó el país motivada por la caída del campo socialista del este de Europa, la pérdida de más del 70 % del comercio y el recrudescimiento del bloqueo de Estados Unidos. Estas dificultades se manifestaron de inmediato en la merma de la capacidad de compra de fertilizantes minerales y piensos para la alimentación animal, por lo que fue necesaria la máxima potenciación de la produc-

Tabla 4. Composición del humus de lombriz obtenido a partir de diferentes residuales (Martínez *et al.* 2003).

Parámetro	Estiércol vacuno	Estiércol porcino de lecho	Estiércol porcino de corral	Cachaza	Residuo de café	Hojarasca
pH	6,5 - 7,1	5,6 - 6,1	6,2 - 6,6	7,0 - 7,4	6,1 - 6,5	-
CE (ds/m)	1,5 - 3,9	2,0 - 2,8	0,7 - 2,2	0,4 - 1,1	0,5 - 1,7	1,3 - 2,9
MO (g/kg)	490 - 640	420 - 640	540 - 590	500 - 600	740 - 800	460 - 680
N (g/kg)	16,0 - 27,0	21,0 - 30,0	22,0 - 31,0	11,0 - 19,0	34,0 - 37,0	18,0 - 24,0
P (g/kg)	2,0 - 9,0	9,0 - 27,0	12,0 - 15,0	10,0 - 21,0	0,2 - 3,0	6,0 - 10,0
K (g/kg)	2,0 - 5,0	0,8	2,0	2,0 - 3,0	1,0 - 2,0	2,0 - 3,0
Na (g/kg)	0,4	0,2	1,0	0,6 - 1,0	0,3 - 0,9	0,6 - 0,8

ción de abonos orgánicos, para compensar el déficit de fertilizantes minerales.

Lo anterior entre otras cuestiones provocó la necesidad de cambio en la conducción del ganado, con una disminución brusca del tiempo de estabulación, lo que trajo como consecuencia la reducción de la disponibilidad de estiércol para las lombrices, el cual constituía la base fundamental de producción del humus de lombriz en el país. Como consecuencia, disminuyó la producción de humus, pero paradójicamente aumentó la necesidad de su aplicación como medida necesaria para atenuar la caída de los rendimientos de los cultivos que se produjo por la carencia de los fertilizantes minerales.

Para que se tenga una idea que, a partir del comienzo del período especial hasta la actualidad, se ha mantenido como promedio anual entre el 75 y el 80 % del área de cultivos agrícolas de Cuba sin la aplicación de fertilizantes minerales. En la figura 1 aparece la situación histórica en la adquisición de fertilizantes minerales para los cultivos.

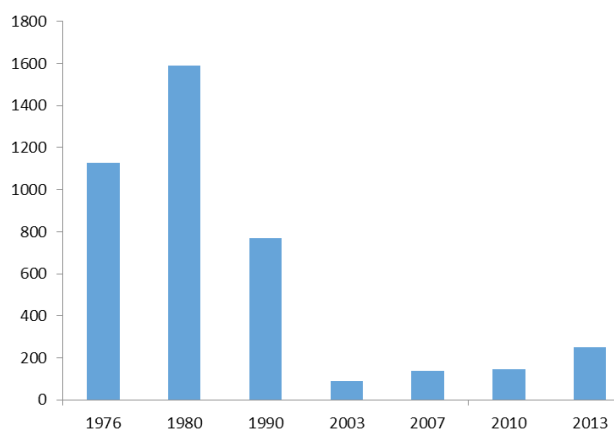


Figura 1. Consumo histórico (mt) de fertilizantes minerales en Cuba (Instituto de Suelos 2014).

También se presentaron problemas con otros insumos, equipos y herramientas, lo que hizo imposible mantener la producción de humus de lombriz en las grandes unidades. Por esta razón se produce un cambio en la estrategia de desarrollo del cultivo, pasando a la primera prioridad, el desarrollo de producciones a pequeña y mediana escala, aunque sin renunciar a mantener algunas unidades grandes. Para lograr este propósito, fue necesario un gran trabajo de capacitación a los productores, técnicos y población en general, con el fin de lograr diversificar los residuales a emplear.

Un apoyo importante, tanto para elevar los índices de producción, como para la capacitación de los productores, significó la creación del subprograma de abonos orgánicos en el marco del programa nacional de Agricultura Urbana.

Como resultado de este trabajo se logró un alto nivel de generalización, obteniéndose una significativa recuperación de la producción de humus de lombriz, hasta alcanzar producciones de cerca de un millón de toneladas en el año. Esto fue posible entre otras razones por la diversificación de los residuales empleados como alimento de las lombrices y el establecimiento de policultivos con la introducción de diferentes alternativas de sombras naturales que permitieron elevar los índices de aprovechamientos de las áreas dedicadas a esta práctica.

8. Generalización de la producción y el uso de los abonos orgánicos

La cuarta y última etapa fue de consolidación y generalización, se caracterizó por el empleo masivo de sistemas de producción agrícola sostenibles, sobre la base del reciclaje de los restos orgánicos y una amplia utilización de los abonos orgánicos, lo que provocó la necesidad de experimentar un crecimiento en su producción de manera de poder satisfacer las necesidades crecientes de la producción.

Para conseguir este propósito en el año 2001 se creó el programa nacional emergente de abonos orgánicos, a través del cual se han realizado acciones encaminadas a lograr la máxima popularización de la tecnología, su implantación en todas las unidades productivas del país y su uso en la mayoría de los cultivos.

Con este objetivo se priorizó la capacitación de los productores a todos los niveles en los sistemas de tratamiento de los residuales sólidos orgánicos a partir de la lombricultura y el compostaje y una adecuada labor divulgativa sobre las características de estos sistemas, de manera que se garantizara elevar su eficiencia y la aplicación óptima de sus productos.

Como resultado del trabajo, hoy el país cuenta con 168 centros municipales de producción de abonos orgánicos y un microcentro en la mayor parte de los consejos populares, desde donde se realiza un fuerte trabajo de generalización de estas tecnologías (Fig. 2).

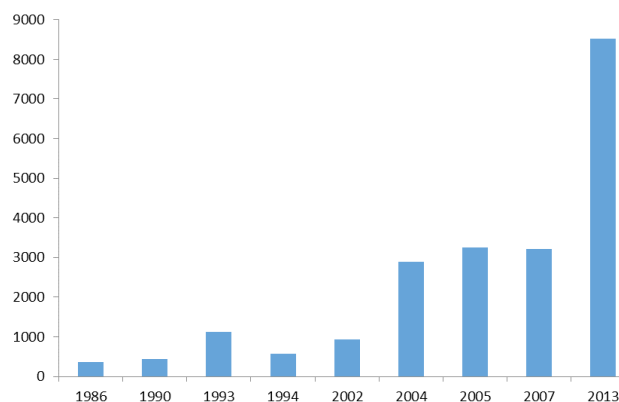


Figura 2. Aplicación de abonos orgánicos (mt) en cultivos agrícolas (Instituto de Suelos 2014).

Así es posible encontrar la producción de abonos orgánicos en todas las unidades de producción agropecuarias, en un número importante de patios, en los hogares y en unidades especializadas, lográndose cifras record de producciones de humus de lombriz y compost de 6 y 15 millones de toneladas respectivamente, con el empleo de los más disímiles sustratos para su producción y diferentes alternativas de sombra natural empleando sistemas de policultivo, así como de sombra artificial.

Los productos (humus de lombriz y compost) han sido ampliamente utilizados con diferentes fines en forma sólida y líquida, con muy buenos resultados y en la mayoría de los cultivos, contribuyendo de manera decisiva a la sostenibilidad de la producción agrícola del país en especial en las áreas comprometidas con el sistema de la Agricultura Urbana, Suburbana y Familiar (Fig. 3).

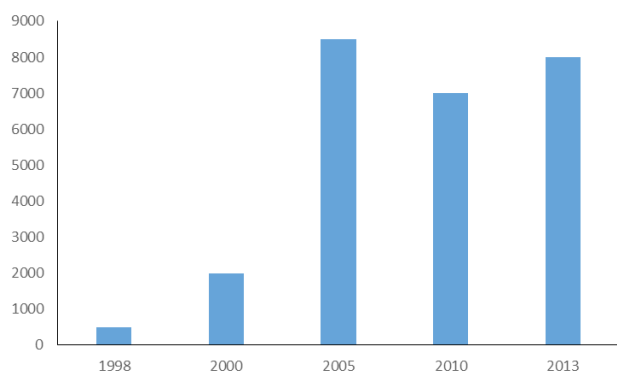


Figura 3. Materia orgánica aplicada en la Agricultura urbana (mt) (GNAUSU y FAM 2015).

Con el uso de estas tecnologías se ha logrado además un notable impacto medio ambiental, contribuyendo a convertir en recursos útiles en los últimos 15 años, unos 400 millones de toneladas de residuales que constituían una fuente altamente contaminante del medio ambiente.

El trabajo realizado durante todos estos años ha representado un importante impulso a las acciones para conservar y elevar los niveles de captura de carbono en los suelos, como única manera de hacer sostenibles los sistemas agrícolas empleados y lograr la necesaria soberanía alimentaria.

No obstante lo alcanzado, continúan en la actualidad los trabajos de investigación-desarrollo, encaminados a dar respuestas a problemas aún no resueltos, entre ellos, mejorar la calidad del humus de lombriz y el compost mediante el uso de buenas prácticas de producción y mediante la combinación de los residuales que se le proporcionan como alimento a las lombrices, la combinación del humus con otros productos orgánicos y biofertilizantes y el uso de la carne de lombriz para la alimentación animal.

Este último producto, a pesar del desarrollo alcanzado en la tecnología y de los resultados obtenidos en las investigaciones sobre su utilización para la alimentación de diferentes especies de animales (Camps y Reines 1986, García 2003), ha sido poco utilizada en la práctica productiva, por lo que será importante la búsqueda de métodos que permitan su generalización, entre otras cosas por los importantes contenidos de proteína, microelementos y aminoácidos que posee, factores importantes desde el punto de vista nutricional (Cuevas *et al.* 1987, Reines *et al.* 1998, Martínez *et al.* 2003 y Peña 2009), además de la facilidad para su producción. Según investigaciones por cada tonelada de estiércol fresco se producen 500 kg de humus y 100 kg de carne de lombriz (Peña 2009).

La depresión de la producción de azúcar y el cierre de centrales azucareros, ha provocado una drástica reducción de los residuales generados por esta industria, lo que repercute en una disminución de la producción de abonos orgánicos y obliga a la búsqueda y utilización de nuevas fuentes no tradicionales.

En la actualidad un lugar destacado en las investigaciones lo ocupa el uso de los residuales sólidos urbanos y los productos de su tratamiento, prestándose una especial atención a los peligros potenciales de contaminación que puede entrañar su empleo en la agricultura. Para lograr un uso más amplio de este residual, será importante realizar un intenso trabajo comunitario, que permita sensibilizar a los pobladores en la necesidad de hacer selección "in situ" del mismo, lo que disminuye sus niveles de contaminación.

También se comienza a introducir de manera acelerada por muchos productores los microorganismos eficientes, a partir de la potenciación de los microorganismos benéficos nativos y aplicando los principios del Bocashi, con la utilización de diferentes materiales alternativos en cada zona.

Estos microorganismos eficientes, cuando entran en contacto con materia orgánica secretan sustancias beneficiosas como vitaminas, ácidos orgánicos, minerales quelados y antioxidantes, estos últimos, promueven la descomposición de materia orgánica y aumentan el contenido del humus de los suelos, con el consecuente incremento de los rendimientos de los cultivos. Por todo esto esta tecnología debe convertirse en una importante alternativa en el futuro.

A pesar de los avances obtenidos en la introducción y establecimiento de esta tecnología, los niveles de producción actuales no satisfacen las necesidades crecientes de la producción para hacer sostenibles los rendimientos, de aquí que se plantee la necesidad de experimentar un crecimiento de la producción de abonos orgánicos y un esfuerzo especial también en las investigaciones sobre la producción y uso de los biofertilizantes, los cuales se pueden definir como preparados que contienen células vivas o latentes de cepas microbianas

eficientes como fijadoras de nitrógeno, solubilizadoras de fósforo, potenciadoras de nutrientes o productoras de sustancias activas, que se utilizan para aplicar a las semillas, al suelo o a las hojas con el objetivo de incrementar el número de microorganismos en el medio y acelerar los procesos microbianos, de tal forma, que se aumenten las cantidades de nutrientes que pueden ser asimilados por las plantas o se hagan más rápidos los procesos fisiológicos que influyen sobre el desarrollo y el rendimiento de los cultivos (Martínez-Viera 2006).

9. Inoculantes microbianos y estimulantes

La inoculación con microorganismos benéficos a cultivos de importancia económica es una práctica que se venía realizando en Cuba desde principios del pasado siglo XX, cuando se inocularon leguminosas con *Rhizobium* procedentes de los Estados Unidos en la Estación Agronómica de Santiago de las Vegas, hoy Instituto Nacional de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical (INIFAT).

Sin embargo, no es hasta las décadas de los años 80 y 90 del propio siglo que esta actividad tomó un gran auge en el país, cuando grupos multidisciplinarios de investigación desarrollaron productos a partir de aislar, caracterizar, producir e inocular microorganismos nativos del suelo, fundamentalmente de los géneros bacterianos *Bradyrhizobium*, *Rhizobium*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Pseudomonas* y hongos micorrízicos arbusculares de los géneros *Glomus* y *Acaulospora*, solos o combinados con efectos muy ventajosos sobre el crecimiento y la producción de las plantas (Medina 2009).

En el año 1963, el Primer Ministro Fidel Castro hizo referencia a la importancia de la fertilización de los suelos con microorganismos, para abaratar las producciones agrícolas y ahorrar fertilizantes químicos. En 1991, la producción de biofertilizantes o inoculantes microbianos se incluyen en el Programa Alimentario aprobado como programa estratégico, momento en que se inicia el Período Especial y el país estaba imposibilitado de adquirir grandes cantidades de químicos para la fertilización de los suelos y nutrición de los diferentes cultivos de importancia económica.

Es bajo esta coyuntura que se desarrollaron los inoculantes microbianos en el país, los cuales han contribuido no solo a sustituir fertilizantes químicos de importación, sino también producir alimentos más sanos para la población y proteger el medio ambiente.

9.1. Importancia de los inoculantes microbianos para el desarrollo de una agricultura agroecológica en Cuba

Los biofertilizantes o inoculantes son productos de origen microbiano, que pueden definirse como preparados que contienen células vivas o latentes de cepas microbianas eficientes como fijadoras de nitrógeno, so-

lubilizadoras de fósforo, potencializadoras de diversos nutrientes o productoras de sustancias activas, que se utilizan para aplicar a las semillas, al suelo o a las hojas, con el objetivo de incrementar el número de microorganismos en el medio y acelerar los procesos microbianos, de tal forma que se aumenten las cantidades de nutrientes que pueden ser asimilados por las plantas o se hagan más rápidos los procesos fisiológicos que influyen sobre el desarrollo y el rendimiento de los cultivos (Martínez-Viera 2006, San Juan 2009).

La importancia del uso de este tipo de producto radica en su capacidad para suplementar o movilizar nutrientes con un mínimo de recursos no renovables, en que generan procesos microbianos rápidos, se aplican en pequeñas dosis y permiten solucionar problemas locales específicos. El desarrollo, comercialización y aplicación de un inoculante eficaz y de calidad es un proceso largo y complejo de investigación en que se ven involucrados muchos y muy diversos especialistas (San Juan 2009).

La utilización de los inoculantes microbianos en Cuba no es una consecuencia del Período Especial sino el resultado de un largo proceso de investigaciones y la incorporación progresiva de distintas instituciones, con el convencimiento pleno de la gran utilidad que podía recibir el país mediante la manipulación de los microorganismos del suelo, después de profundos estudios encaminados a obtener los conocimientos básicos sobre la microflora de los suelos cubanos y con el objetivo básico en un principio de sustituir fertilizantes minerales de importación, alcanzando altos rendimientos agrícolas sin la afectación del medio ambiente.

9.2. Situación actual de la producción de inoculantes microbianos en Cuba

Durante varios años, las instituciones científicas del país han desarrollado una amplia gama de productos biofertilizantes de uso agrícola. De los 22 productos (Biofer®, Azofert®, Nitrofix®, Fosforina®, Fosforina plus A, Fosforina plus R, EcoMic®, LicoMic, Pectimorf, Quitosanas, Azomeg, Biofosol-H, Biofosol-B, Dimabac, Aestim, Dimazos, Biobac, MicoFert, Rhtp1, 2, 3 y 4) biofertilizantes de uso agrícola desarrollados, la comisión de productos priorizados de la biotecnología agrícola, que preside el Ministerio de la Agricultura (Minag), reconoce que han tenido un mayor impacto en la producción alimentaria seis de ellos: Biofer®, Azofert®, Nitrofix®, Fosforina®, Dimargon® y EcoMic®, en relación con la demanda por parte de los productores, su nivel de acabado y la sustitución de fertilizantes químicos que permite su utilización.

En los primeros años de la década del 90, durante pleno Período Especial, se estableció en el país una red para la fabricación de biofertilizantes utilizándose instalaciones de algunos Complejos Agroindustriales azucareros, fábricas de torula, roneras, así como otras instalaciones, lo que permitió obtener significativos volú-

menes de productos que fueron aplicados a una amplia gama de cultivos y tipos de suelos, lo cual contribuyó a atenuar la falta de fertilizantes en esos momentos y facilitó la introducción y generalización de los mismos en la agricultura cubana.

Entre los años 2012-13, se completaron las pruebas toxicológicas, los expedientes para registro y se registraron cinco productos. Se transforman instalaciones de producción para cumplir las exigencias de seguridad biológica y se construyen nuevas fábricas con los más altos estándares tecnológicos.

9.3. Contribución de los inoculantes microbianos a la producción agrícola del país

Entre los años 2003 y el 2013 en el que el país estuvo limitado en la disponibilidad de fertilizantes químicos para la producción agrícola, las plantas de producción de inoculantes del país produjeron entre 6,2 - 37,6 t por año de Biofer®; entre 11 800 - 93 600 L por año de Fosforina®; y entre 2 850 - 82 500 L por año de Dimargon® y de 12 a 42 t por año de EcoMic®, lo que permitió beneficiar cerca de 76 239 ha anuales con estos productos. Las fluctuaciones se debieron a las diferencias en demanda de estos inoculantes por parte de los productores (Gómez y Martínez-Viera 2016).

Una reciente evaluación de la Dirección de Economía del Minag, consideró que el empleo de los productos Biofer®, Azofert®, Nitrofix®, Fosforina®, Dimargon® y EcoMic® sustituyen considerables cantidades de fertilizantes químicos en los diferentes cultivos en que se emplean (Minag 2010). El número total de áreas cubiertas con biofertilizantes entre los años 2003 y 2013 fue de 762 387 ha.

El uso de Biofer® en leguminosas permitió ahorrar al país por concepto de importación de fertilizantes 2,48 millones de USD/año (24,8 millones de USD/10 años), el uso de Fosforina® en diversos cultivos cerca de 91 842 USD/año (918 428 USD/10 años), el empleo de Dimargon® en una amplia gama de cultivos alrededor de 1,13 millones USD/año (11,31 millones en 10 años) y la inoculación con el producto a base de hongos micorrízicos EcoMic® 626 086 USD/ año (6,26 millones en 10 años) (Gómez y Martínez-Viera 2016).

Específicamente en el año 2013 la producción de inoculantes bacterianos en las plantas de producciones artesanales del Instituto de Suelos fue de 18 830 kg de Biofer®; 5 080 kg de Fosforina®; 6 450 kg de Dimargon®; 0,96 miles de kg de Fosforina plus R (*Pseudomonas + Rhizobium*) y 12,33 miles de kg de Fosforina plus A (*Pseudomonas + Azotobacter*), que permitieron inocular 57 707 ha de diferentes cultivos, lo que representó un ahorro de 4,33 millones de CUC por concepto de sustitución de fertilizantes químicos de importación (Gómez y Martínez-Viera 2016)..

Por su parte en el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas produjo 1 600 dosis de Azofert® y 36 t de EcoMic®,

lo que permitió inocular 10 600 ha de diferentes cultivos, que representó 951 796 USD de ahorro por concepto de sustitución de fertilizantes químicos de importación. En la campaña de producción 2013 se tuvo un especial cuidado en la calidad del producto ofertado a los productores.

9.4. Perspectivas del empleo de los inoculantes microbianos en la agricultura cubana

En el país se siembra anualmente más de un millón de hectáreas de viandas, hortalizas, granos, frutas, y caña de azúcar en una campaña agrícola, lo que demanda más de 200 millones de dólares (USD) solo por concepto del uso de fertilizantes químicos, de cumplirse con lo establecido en las tecnologías de cada cultivo.

Debido a las dificultades económicas, actualmente la agricultura cubana "protege" con estos agroquímicos alrededor de un 20 % de las áreas de siembra (Minag 2010), el resto de las producciones se realiza a partir de la utilización de las reservas de nutrientes del suelo, fenómeno que provoca sin dudas, pérdida paulatina de la fertilidad de los mismos y una disminución de los rendimientos agrícolas.

Obtener formulaciones económicas y socialmente viables, establecer un sistema de calidad que permita disponer de productos competitivos, implantar un sistema de distribución adecuado a las necesidades del país y diversificar las producciones son algunas de las acciones que se llevan a cabo para elevar la efectividad del uso de los biopreparados de uso agrícola.

Teniendo en cuenta esta situación, en el año 2009 el Grupo de Biotecnología Agrícola del Minag formado por investigadores y especialistas de las instituciones científicas del país, directivos del ministerio, el gobierno y todas las entidades involucradas se propusieron impulsar el desarrollo de los inoculantes microbianos en el país, teniendo como objetivos principales: cubrir las demandas nacionales; elevar la calidad de los productos existentes; potenciar el desarrollo de nuevos productos y apoyar el registro de todos los productos existentes.

Esta propuesta se recogió en el Programa para la Recuperación y Desarrollo de los Bioproductos para sustituir importaciones en la producción agroalimentaria y constituye en la actualidad la plataforma de trabajo de todas las entidades involucradas.

El nuevo reto de la industria de los biofertilizantes en el país y de los institutos de investigación científica asociados, será lograr insertar estos productos en un nuevo tipo de agricultura, matizada por una amplia diversidad de sistemas productivos, que incluyen sistemas convencionales con una elevada disponibilidad de recursos, parceleros que cultivan en huertos y patios con muy pocos recursos, así como usufructuarios sin experiencia agrícola anterior, los cuales se organizan en el sistema productivo denominado Programa Nacional de Agricultura Urbana, Suburbana y Familiar, que está cada

vez más comprometido en contribuir a satisfacer las demandas locales de productos agrícolas.

Otro de los desafíos a enfrentar en el futuro será elevar la eficacia con el uso de estas tecnologías, a la vez que se mejore también el balance de nutrientes dentro de los diferentes sistemas agrícolas, se disminuyan las pérdidas post cosechas, lo que permitirá estabilizar y mejorar paulatinamente la fertilidad de los suelos, principal recurso natural con el que cuenta nuestro país.

Por lo tanto, los inoculantes microbianos adquirirán una mayor importancia en el contexto de la agricultura cubana de los próximos años dado que son imprescindibles para garantizar rendimientos agrícolas estables, y asegurar un balance de nutrientes más positivo (N y P principalmente), en los sistemas agrícolas, lo que permitirá proteger la fertilidad actual de los suelos y el medio ambiente en el país, sin dejar de producir alimentos para la población.

10. Estimulantes y bioestimulantes en la producción de alimentos en Cuba

Los estimulantes y/o bioestimulantes pueden ser considerados bioproductos que aplicados a los diferentes cultivos estimulan y aceleran el crecimiento vegetal, potencian la toma más eficiente de nutrientes desde el suelo, protegen contra el estrés y el ataque de patógenos a la vez que incrementan los rendimientos agrícolas entre 10 y 25 %.

En el año 2009 el Grupo de Biotecnología Agrícola del Minag definió que cuatro de estos productos son los de mayor interés para el país: los estimulantes Fitomas-E®, Tomacid® y Biobras-16® y el bioestimulante Bioenraiz® tienen en la actualidad, una amplia demanda de los productores, pero no han sido aprovechadas todas sus potencialidades. A excepción del Fitomas-E®, sus producciones a nivel nacional se ven limitadas por la falta de financiamiento para insumos, materiales y equipos (Gómez y Martínez-Viera 2016).

Ejemplos fehacientes de esta práctica son la aplicación conjunta del estimulante Biobras®-16, con los inoculantes microbianos Azofert® y EcoMic® en el cultivo de la soya (*Glycine max*) (Corbera y Nápoles 2010), y en el cultivo del arroz (Escalona *et al.* 2009), prácticas que han permitido incrementar los rendimientos en más de un 35 %.

En un futuro inmediato la introducción de nuevos estimulantes o inoculantes microbianos, tendrá que considerar no solo el impacto individual de cada uno de estos bioproductos, sino también la complementariedad y la compatibilidad con otros que se empleen como alternativa para potenciar otros efectos positivos sobre los rendimientos agrícolas. Teniendo en cuenta el potencial que aún existe en el uso de estos bioproductos y considerando que su impacto no es únicamente económico, no cabe dudas que cada vez más estos bioproductos ganarán un mayor espacio en la agricultura cubana del futuro.

REFERENCIAS

- Aguilar Y, Castro N, Peña F, Riverol M. 2001. Cuantificación de la erosión y medidas para su control y estabilización en la finca La Rosita al norte de la provincia de La Habana. En XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo. Boletín No 4.
- Aguilar Y, Castellanos N, Riverol M. 2016. Manejo ecológico del suelo. En Avances de la agroecología en Cuba (Funes F, Vázquez LL, eds.). La Habana, Cuba: EEPF Indio Hatuey, pp 91-105.
- Arias E, Martínez F, Morales A y García C. 2008. Manual de Procedimiento de Abonos Orgánicos. La Habana, Cuba: Biblioteca ACTAF.
- Arzola N, Paneque V, Battle H, Morejón L, Alfonso C, Hernández G. 1990. La cachaza como enmienda orgánica y fertilizante para la caña de azúcar. La Habana. Cuba: INCA.
- Caballero R, Gandarilla J, Pérez D, Rodríguez D. 2001. Tecnología de fertilización orgánica para elevar los rendimientos y mantener la fertilidad de los suelos en los huertos intensivos. Boletín No.4 SCCS. Publicación electrónica.
- Calero B, Morales A, Font L, Alfonso CA. 2001. Estado microbiológico de un Ferralsol sometido a diferentes sistemas de manejo agrícola. Boletín No.4 SCCS. Publicación electrónica.
- Camps D, Reinés M. 1986. Utilización de la Vermiharina como fuente proteica animal en pollos de engorde. Revista cubana de Ciencias Avícolas 13 (2):145-151.
- Corbera J, Nápoles MC. 2010. Evaluación de la inoculación conjunta *Bradyrhizobium japonicum* – Hongos MA y la aplicación de un bioestimulador del crecimiento vegetal en soya cultivada en época de verano. Memorias del XVII Congreso Científico Internacional Inca. La Habana.
- Crespo G, Gutiérrez O. 1992. Estudio de métodos para aumentar la efectividad del estiércol vacuno como abono orgánico. Resúmenes del I Taller Internacional sobre Biofertilizantes en los trópicos. La Habana.
- Cuevas J, Morejón J, Ojeda M, Vale V. 1987. Instructivo técnico para el desarrollo de la lombricultura en Cuba. La Habana, Cuba: Instituto de Suelos del MINAG.
- Escalona CN, Betancourt L, Torres JC. 2009. Manejo de Interacciones Beneficiosas en el cultivo del Arroz (*Oryza sativa*) en la provincia de Holguín. En Memorias de la XXIV Reunión Latinoamericana de Rhizobiología. La Habana.
- Fernández A, Pérez R. 2009. Evaluación del medio ambiente cubano. GEO Cuba. República Dominicana: Centenario.
- Fuentes A, Martínez F. 2015. Indicaciones prácticas para la conservación, mejoramiento y fertilización de los suelos. La Habana, Cuba: Pueblo y Educación.

- Gandarilla J, Martínez F. 1995. Manual de Uso y Manejo del Humus de Lombriz. La Habana. Cuba: Instituto de Suelos Minag.
- Gandarilla J, Martínez F, Calero B. 2001. Lombricultura. Uso y manejo del humus. Boletín resumen II Congreso Iberoamericano de Química y Física Ambiental.
- García MD. 2003. Estudio de integración de la vermicultura a la producción porcina en Cuba. Tesis en opción al título Académico de Máster en producción porcina mención: Nutrición y Alimentación Porcina. IIP. La Habana. Cuba.
- GNAUSU y FAM. 2015. Lineamientos de la Agricultura Urbana, Suburbana y Familiar. Grupo Nacional de Agricultura Urbana, Suburbana y familiar para el año 2015. Ministerio de la Agricultura. La Habana.
- Gómez L, Martínez-Viera R. 2016. Inoculantes microbianos y estimulantes. En Avances de la agroecología en Cuba (Funes F, Vázquez LL, eds.). La Habana, Cuba: EEPF Indio Hatuey, pp 141-153.
- Hernández J, Rodríguez J, Toscano B, Monederos M, Vázquez H, Peñafuerte E, Chang D. 1989. Resultado de los ensayos realizados con el humus producido por las lombrices denominado humus L. Resultado Cient. Tec. Código 18RF124 del Minag.
- Hernandez P, Morales A, Morel F, Borges, Moreno I, Rios H, Vargas D. 2007. Algunos resultados sobre las pérdidas de carbono en ecosistemas con suelos Ferralíticos Rojos lixiviados en Clima tropical subhúmedo de Cuba. Cultivos tropicales 28(3):55-60.
- Instituto de Suelos. 1989. Mapa Nacional de Suelos de Cuba a escala 1:25 000. Documentos y hojas cartográficas. La Habana, Cuba: Instituto de Suelos.
- Instituto de Suelos. 1999. Nueva versión de la clasificación genética de los suelos de Cuba.. La Habana, Cuba: Instituto de Suelos, Ministerio de la Agricultura, Agrinfor.
- Instituto de Suelos. 2011. Manual para el manejo del abonado verde en suelos dedicados a cultivos varios. 1ra edición. CIGEA.
- Instituto de Suelos. 2014. Infome Dirección Nacional de Servicios Técnicos del Inst. de Suelos Minag. La Habana.
- Martínez, Rodríguez, F; B. J. Calero; E. Calderón; M. A. Valera y J. A. Ticante. 2001. Transformación de los restos orgánicos en los suelos y su impacto ambiental. Boletín No 4 SCCS. SIN 16091876. Publicación electrónica.
- Martínez Rodríguez, F, Calero B, Vargas RN, Rovestí I. 2003. Lombricultura. Manual Práctico. La Habana, Cuba: Instituto del Suelo.
- Martínez Rodríguez, F, Gómez L. 2015. La fertilización de los cultivos bajo una perspectiva agroecológica. En Sembrando en tierra viva. Manual de agroecología (Martínez Oliva E, ed). La Habana, Cuba, pp 65-83
- Martínez-Viera, R. 2006. Los biofertilizantes y bioestimulantes bacterianos como pilares básicos de la agroecología. Caracas, Venezuela: SIARA.
- Mayea S. 1994. Tecnología para la producción de compost (biotierra) a partir de la inoculación con microorganismos de diversos restos vegetales. La Habana, Cuba: CIDA.
- Medina N. 2009. Presente y Futuro de los Biofertilizantes en Ibero-América: Cuba. Biofertilizantes para la Agricultura de Iberoamérica en el Siglo XXI. Resúmenes Taller BIOFAG: Fertilizantes Biológicos para la Agricultura Iberoamericana del Siglo XXI. La Habana-
- Minag 2010. Programa para la Recuperación y Desarrollo de los Biofertilizantes Documento presentado al MEP.
- Paneque V, Martínez M. 1992. Evaluación de la vinaza del CAI "Héctor Molina" como fertilizante para la caña de azúcar. La Habana, Cuba.
- Peña TE, Carrión M, Martínez F, Rodríguez Nodals A, Companioni N. 2002. Manual para la Producción de Abonos orgánicos en la Agricultura Urbana. Cuba: Inifat.
- Peña TE. 2009. La Lombricultura como alternativa de descontaminación ambiental y de nutrición. La Habana: Inifat, pp 98-121.
- Pérez JM, Suárez ED, Ancizar A, Vega E, Azcuy M. 1990. Mapa de erosión actual de los suelos de Cuba. Escala 1:250 000. Instituto de Suelos MINAG.
- Pichs R, Centella A, Llanes J. 2002. Mitigación del cambio climático. Documentación para participantes en el taller de divulgación de los resultados del Grupo de Trabajo III del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre cambio climático. Insmet, Habana.
- Pla Sentís I. 2002. Evaluación de impactos ambientales derivados de la degradación de suelos y su relación con Cambios Climáticos. VI Escuela Latinoamericana de Física de Suelos (VI ELAFIS). Universidad de la Habana.
- PNMCS. 2017. Programa Nacional de Mejoramiento y Conservación de suelos. Cuba: Informe interno Instituto de Suelos..
- Ponce de León D. 2004. Las reservas de carbono orgánico de los suelos minerales de Cuba. Aporte metodológico al cálculo y su generalización espacial. Tesis Dr. Ciencias Agrícolas. Unah. La Habana.
- Reinés M, Rodríguez MC, Sierra A, Vázquez M. 1998. Lombrices de tierra con valor comercial. Biología y técnicas de cultivo. México: Ducere, S. A. de C.V.
- Riverol M. 1985. La erosión potencial de los suelos de Cuba y los métodos para su mapificación. Resumen de tesis de doctorado. Instituto de Suelos.
- Riverol M, Aguilar Y. 2015. Alternativas para reducir la degradación de los suelos en Cuba y el enfrentamiento al cambio climático. En Sembrando en

- tierra viva. Manual de agroecología (Martínez Oliva E, ed). La Habana, Cuba, pp117-132.
- Riverol M, Peña F, Calcedo E, Hernández C, León G, Llanes JM, Aguilar Y. 1999. Informe Final del Proyecto uso y manejo de los suelos afectados por la erosión en los agroecosistemas de las provincias occidentales y centrales del país. Programa Nacional de Cambios Globales.
- Riverol M, Castellanos N, Peña F, Fuentes A. 2001. Programa Nacional de Mejoramiento y Conservación de Suelos (PNMCS). La Habana, Cuba: Instituto de Suelos. Agrinfor. Minag.
- Rodríguez D. 2016. Avances del Programa Nacional de Conservación y Mejoramiento de Suelos. (Presentación). Cuba: Instituto de Suelos.
- San Juan 2009. BIOFAG. Fertilizantes Biológicos para la Agricultura y el Medio Ambiente. Resúmenes Taller BIOFAG: Fertilizantes Biológicos para la Agricultura Iberoamericana en el Siglo XXI. La Habana, Cuba.