

MANEJO AGRONÓMICO INTEGRAL DE SUSTRATOS, MÉTODOS DE SIEMBRA Y BIOFERTILIZACIÓN EN LA PRODUCCIÓN SOSTENIBLE DE TUBÉRCULOS-SEMILLA DE PAPA POR SEMILLA SEXUAL

A. Hernández[✉]

ABSTRACT. With the aim of yielding potato seed tubers from true potato seed (TPS) ecologically and sustainably, three experiments were conducted at the National Institute of Agricultural Sciences, San José de las Lajas, Havana province, between 1994 and 1998, on a compacted red Ferralitic soil, where two organic sources were tested as substrates, besides two sowing methods, direct and transplanting, different soil/manure proportions in the substrate composition and the best results combined and seed coinoculation with biofertilizers (*Pseudomonas cepacia*, *Pseudomonas fluorescens* and *Azospirillum brasilense* Sp-7) and mycorrhizal arbuscular fungus (*Glomus fasciculatum*), using 60 kg N. ha⁻¹. Results showed a positive effect of the coinoculation (*Glomus fasciculatum* + *Pseudomonas cepacia*) upon increasing yields. This result was more productive and economical than the use of chemical fertilizer (check).

RESUMEN. Con el objetivo de producir tubérculos-semilla de papa a partir de semilla sexual (SSP) de forma ecológica y sostenible, se llevaron a cabo entre los años 1994-1998 tres experimentos en el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), en el municipio de San José de las Lajas, La Habana, sobre un suelo Ferráltico Rojo compactado, donde se estudiaron dos métodos de siembra (directa y transplante), el uso de dos fuentes de materia orgánica; dosis de aplicación de la materia orgánica en la composición del sustrato y la combinación de los mejores resultados de estos experimentos, con la inoculación de las semillas con biofertilizantes (bacterias nitro fijadoras, fosfosolubilizadoras y hongos micorrizógenos), utilizando pulso de nitrógeno a razón de 60 kg de N. ha⁻¹, combinando todos estos en un experimento. Las bacterias empleadas fueron *Azospirillum brasilense*, *Pseudomonas cepacia*, *Pseudomonas fluorescens* y la micorriza empleada fue *Glomus fasciculatum*. Los resultados finales arrojaron que las plantas donde se había utilizado la coinoculación micorriza + *Pseudomonas cepacia*, tuvieron una mayor producción de tubérculos semilla así como el tratamiento inoculado con *Pseudomonas fluorescens*, siendo los resultados superiores a los del testigo con fertilización química, consiguiéndose con ello una tecnología de producción más económica y ecológica en este cultivo.

Key words: potato, seed production, sowing, *Glomus fasciculatum*, nitrogen-fixing bacteria, organic agriculture

Palabras clave: papa, producción de semillas, siembra, bacteria fijadora de nitrógeno, *Glomus fasciculatum*, agricultura orgánica

INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es el cuarto cultivo de importancia de ámbito mundial después del trigo, el arroz y el maíz (1).

La semilla libre de plagas y enfermedades es uno de los insumos más importantes y a su vez más costosos para los agricultores y varían considerablemente de un país a otro, pero las importaciones de mejor calidad pueden fácilmente alcanzar los \$ 1200.00 USD/ha (2).

Ms.C. A. Hernández, Investigador Auxiliar del Departamento de Fitotecnia, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, La Habana, Cuba.

✉ zardon@inca.edu.cu

En Cuba, la papa se ha propagado tradicionalmente a través de tubérculos-semilla que son fáciles de plantar y las plantas crecen rápida y vigorosamente con rendimientos generalmente altos; sin embargo, los tubérculos-semilla representan entre el 40 y 70 % del costo de producción, son potenciales transmisores de patógenos, voluminosos, frágiles, difíciles de transportar y requieren ser almacenados en estructuras refrigeradas de una campaña a otra. En nuestro país, las poblaciones elevadas de áfidos y otros insectos y la presencia de enfermedades durante todo el año, dificultan la producción de semilla nacional de papa y como resultado se importan tubérculos-semilla de países como Holanda y Canadá a un costo de más de \$ 11 000 000 USD anuales, que muchas veces no presentan la edad fisiológica adecuada al

momento de su arribo al país. Estas limitaciones hacen que la producción de papa con semilla sexual se convierta en una sólida respuesta innovativa de bajo costo, pues los tubérculos obtenidos son libres de muchos virus y otras enfermedades; es una tecnología relativamente barata, las semillas son fáciles de transportar y no requieren de capacidades refrigeradas para su conservación, lográndose un ahorro que fluctúa entre \$ 318.14 y \$ 947.38 USD/ha, en dependencia del origen del material utilizado (3). Por otra parte, se plantea que con la tecnología de producción de tubérculos-semilla por medio de la semilla sexual de papa (SSP), se logra un ahorro por concepto de costo de semilla que fluctúa entre \$200.00 y \$500.00 USD/ha, al compararla con la semilla nacional, canadiense y europea (4).

Además, se expresa que para producir material de plantación en numerosos países, se cuenta con disímiles tecnologías de semilla sexual de papa (SSP), por su flexibilidad técnica y adaptabilidad (5) las cuales varían según las condiciones agroecológicas y socioeconómicas de la agricultura. Sin embargo, la tecnología más usada en el presente es la producción de tuberculillos en canteros (6, 7). Cuando la SSP es utilizada en canteros, los altos requerimientos de condiciones para una buena germinación y crecimiento de las plántulas, pueden ser mucho más fáciles; además, la producción de tuberculillos no requiere de altos insumos para trasplante, las plantas no sufren estrés y el manejo es mejor controlado en pequeñas áreas protegidas que en el campo.

Uno de los aspectos fundamentales por los cuales se considera que la papa no es un cultivo sostenible, es precisamente por el precio tan alto de los tubérculos-semilla y por la gran cantidad de insumos, fertilizantes y pesticidas que se emplean en este cultivo; sin embargo, al utilizar semillas más baratas, el nivel de insumos no debe ser tan alto, por lo que se ha comenzado a trabajar en la elaboración de un método de producción que haga de la papa un cultivo sostenible y de bajos insumos, pudiendo disminuirse los niveles de agroquímicos que actualmente se aplican cuando se plantan tubérculos-semilla.

Esta técnica consistiría en la utilización de semilla sexual de papa (de un bajo costo) y el uso combinado de sustrato orgánico y biofertilizantes en la producción de tuberculillos de papa, lo cual convertiría a este cultivo en más sostenible y menos contaminante, planteándose para ello los siguientes objetivos:

- ⇒ lograr mediante el uso combinado de la materia orgánica en el sustrato y la inoculación de las plantas con biofertilizantes, una buena producción de tuberculillos de papa a partir de semilla sexual,
- ⇒ reducir el uso de los fertilizantes químicos acorde a los resultados de las investigaciones,
- ⇒ reducir los costos de producción y aumentar la ganancia neta,
- ⇒ lograr que el cultivo de la papa sea más sostenible y ecológico.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se desarrolló en las áreas experimentales del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), San José de las Lajas, provincia La Habana, situado a los 23° de Latitud Norte y 82°12' de Longitud Oeste, a una altura de 138 m snm. El suelo fue clasificado (8) como Ferralítico Rojo compactado, con una fertilidad de media a alta.

En los experimentos se utilizaron las siguientes variedades:

- ❖ Experimento 1: variedad Maradonna polinización libre
- ❖ Experimento 2: variedad Desirée polinización libre
- ❖ Experimento 3: variedad Desirée polinización libre.

Todos los experimentos se sembraron en época tardía (enero). El riego se realizó con sistemas de microaspersión, manteniéndose la humedad necesaria para el buen desarrollo de los experimentos y el control de la vegetación indeseable se efectuó de forma manual.

En el caso del uso de los abonos orgánicos en la preparación de los sustratos, estos se midieron en unidades de volumen de suelo y materia orgánica, la que estuvo bien descompuesta al ser aplicada, con un contenido del 25 % de humedad.

Diseños experimentales empleados:

- ❖ Experimento 1: parcela dividida con 6 tratamientos y tres réplicas
- ❖ Experimento 2: bloques al azar con 5 tratamientos y cuatro réplicas
- ❖ Experimento 3: bloques al azar con 12 tratamientos y cuatro réplicas.

En el experimento 1, las parcelas experimentales tuvieron una superficie de 2 m², mientras que en los otros dos experimentos, las parcelas experimentales tuvieron una superficie de 1 m². En todos los casos la densidad de siembra fue de 100 plantas/m².

Características de los tratamientos de cada experimento. El Experimento 1 se caracterizó por tener en las parcelas principales los siguientes tratamientos: suelo + cachaza en proporción 2:1, suelo + estiércol vacuno en proporción 2:1 y suelo + fertilizante químico, aplicándose este último de la siguiente forma: 40 g N, 40 g P₂O₅ y 30 g K₂O/m², el fertilizante fosfórico de fondo al momento de la siembra mezclado con el suelo y el fertilizante nitrogenado y potásico se fraccionó en tres aplicaciones a partes iguales: la primera siete días después de brotadas las plantas y el resto cada 15 días.

Las subparcelas estuvieron compuestas por dos métodos de siembra:

- ↳ Directa a razón de 4-5 semillas por nido a dejar una.
- ↳ Trasplante de una planta por hoyo.

El experimento 2 se caracterizó por tener cuatro tratamientos, donde se utilizó el mejor portador orgánico del experimento 1, utilizándose este en tres proporciones y un tratamiento químico como control (Tabla I).

Tabla I. Características del experimento 2

Tratamientos	Proporción
1- suelo + estiércol	2:1
2- suelo + estiércol	3:1
3- suelo + estiércol	4:1
4- suelo + fertilizante químico	*

* 40 g N, 40 g P₂O₅ y 30 g K₂O/m²

En el experimento 3 se utilizó el sustrato suelo + estiércol vacuno en proporción 4:1, que fue el que mejor resultado arrojó en el experimento 2 y se utilizaron diferentes biofertilizantes en la inoculación de las raíces de las plantas, con dos métodos de inoculación: el método tradicional, que consiste en depositar el biofertilizante en el hoyo antes de la siembra de las semillas y el peletizado de semillas, que consiste en recubrir las semillas con el inóculo (9), pudiéndose apreciar la características de sus tratamientos en la Tabla II.

Tabla II. Tratamientos de biofertilizantes y formas de aplicación

1	<i>Azospirillum brasilense</i> sp-7	Tradicional
2	<i>Azospirillum brasilense</i> sp-7	Peletizado
3	<i>Pseudomonas cepacia</i>	Tradicional
4	<i>Pseudomonas cepacia</i>	Peletizado
5	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Tradicional
6	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Peletizado
7	Micorriza (<i>Glomus fasciculatum</i>).	Tradicional
8	Micorriza (<i>Glomus fasciculatum</i>).	Peletizado
9	Micorriza + <i>Azospirillum brasilense</i> sp-7	Tradicional
10	Micorriza + <i>Azospirillum brasilense</i> sp-7	Peletizado
11	Micorriza + <i>Pseudomonas cepacia</i>	Tradicional
12	Micorriza + <i>Pseudomonas cepacia</i>	Peletizado
13	Micorriza + <i>Pseudomonas fluorescens</i>	Tradicional
14	Micorriza + <i>Pseudomonas fluorescens</i>	Peletizado
15	Testigo absoluto.	
16	Testigo con pulso de "N"	
17	Testigo fertilización química	

Títulos de los biofertilizantes empleados:

- ⇒ *Pseudomonas* c: 1.3 x 10⁸ ufc /mL
- ⇒ *Pseudomonas fluorescens*: 1.9 x 10⁸ ufc/mL
- ⇒ *Azospirillum brasilense* (Sp-7): 1.3 x 10⁸ ufc/mL
- ⇒ Micorriza (*Glomus fasciculatum*): 84 % de infectación (20 esporas/g suelo).

La fertilización química llevada a cabo fue de 40 g N, 40 g de P₂O₅ y 30 g de K₂O/m², aplicándose el fertilizante fosfórico en el fondo del cantero tres días antes de la siembra y mezclado con el suelo y el fertilizante nitrogenado y potásico se fraccionó en tres aplicaciones: la primera 10 días después de la emergencia de las plantas y el resto cada 15 días.

El pulso nitrogenado se le aplicó a todos los tratamientos menos al testigo químico y al testigo absoluto, aplicándose N a razón de 60 kg.ha⁻¹ con urea diluida en agua, asperjada al suelo antes de la siembra y mezclada con ella.

La caracterización química de los materiales orgánicos utilizados en la composición de los sustratos del experimento 1, se muestran en la Tabla III.

Tabla III. Características de los materiales orgánicos utilizados en el primer experimento

Parámetros	Cachaza	Estiércol vacuno
Nitrógeno (%)	2.62	2.75
Fósforo (%)	1.09	0.55
Potasio (%)	0.18	0.20
pH en agua	7.3	6.8
Materia orgánica (%)	20.1	36.6

Es necesario aclarar que los resultados que se obtuvieron en los primeros experimentos se fueron incorporando a los siguientes, hasta concluir en el experimento 3.

En cuanto a los índices evaluados, solo se expondrán los referentes al número de tubérculos y su masa por m².

Para el análisis económico del trabajo se utilizó la metodología propuesta (10) y los precios de los fertilizantes utilizados en dicho cálculo se exponen a continuación:

Urea	\$ 170.00/ton
Super fosfato triple	\$ 300.00/ton
Cloruro de potasio	\$ 200.00/ton
Micorrizas	\$ 2.50/kg
<i>Pseudomonas cepacia</i>	\$ 13.00 ½ kg
Tubérculo-semilla	\$ 0.06 la unidad
Estiércol + aplicación	\$ 278.00 las 86 ton

Las medias mensuales de las variables climáticas más importantes (temperatura, precipitación y humedad relativa) registradas durante el transcurso de los experimentos en los diferentes años se muestran en la Tabla IV.

Tabla IV. Comportamiento de algunas variables climáticas al momento de llevarse a cabo los experimentos

Meses	Temperatura °C								
	Máxima			Media			Mínima		
	1994	1995	1998	1994	1995	1998	1994	1995	1998
enero	25.9	25.7	26.2	21.1	19.7	21.4	17.1	14.0	17.6
febrero	28.1	26.8	26.9	21.5	19.7	21.4	17.7	13.8	19.5
marzo	28.4	28.5	26.1	21.9	21.8	21.0	16.5	16.1	16.9
abril	29.2	31.0	30.8	23.2	24.7	23.4	18.5	19.7	17.9
mayo	30.8	32.4	31.2	25.0	26.2	25.6	19.9	21.3	20.4
Precipitación (mm)									
	enero		febrero	marzo		abril		mayo	
1994	68.5		80.7	67.9		103.5		72.8	
1995	69.3		148.2	38.2		58.8		90.0	
1998	101.1		93.7	164.1		17.0		204.0	
Humedad relativa (%)									
	enero		febrero	marzo		abril		mayo	
1994	82.4		83.7	79.7		80.4		81.5	
1995	80.4		81.7	77.8		76.9		78.7	
1998	84.5		82.0	80.0		75.0		85.1	

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Experimento 1. Utilización de dos fuentes de materia orgánica y dos métodos de siembra en la producción de papa por semilla sexual

En la Tabla V se pueden apreciar los resultados del análisis estadístico para el número de tubérculos/m² y la masa de tubérculos/m², donde no hubo interacción entre las parcelas mayores y menores; sin embargo, sí se encontraron diferencias altamente significativas para las parcelas mayores, o sea, entre sustratos, donde se obtiene una mejor respuesta en el sustrato suelo + estiércol vacuno, seguido del tratamiento suelo + cachaza y por último el fertilizante químico.

Tabla V. Número de tubérculos y masa total (g)

Tratamientos	Número tubérculos	Masa tubérculos (g)
Suelo + cachaza	205.00 b	834.78 ab
Suelo + estiércol	281.00 a	1264.08 a
Suelo + fertilizante químico	196.32 b	352.32 b
ES x	9.68**	67.98**
Siembra directa	208.44	846.60
Siembra x trasplante	246.44	787.70
ES x	10.41 NS	38.84 NS

Medias con letras comunes no difieren significativamente según dócima de rango múltiple de Duncan para $P < 0.001$

Es necesario señalar que en el sustrato suelo + fertilizante químico, aunque los elementos N y K fueron fraccionados en tres aplicaciones, se evidenció después de los 10 días cierta retención en el crecimiento de las plantas que luego se superó, pudiendo haber estado esto asociado a la sensibilidad de las plantas a la salinidad del N y el K, coincidiendo con otros trabajos (11), donde se expresa que la cantidad total de nitrógeno y potasio debe ser fraccionada varias veces, debido a la alta sensibilidad de las plantas a las sales y explica que éstas no deben aplicarse hasta una o dos semanas después de la emergencia. Por otra parte, se plantea que la cantidad de nitrógeno y potasio aplicados en el momento de la siembra debe ser mínima, para evitar una alta concentración de sales que da como resultado una emergencia y crecimiento pobres de las plantas (12).

El mejor comportamiento de las plantas en los sustratos orgánicos está asociado a las propiedades que éstos le proporcionan al suelo (13, 14, 15, 16, 17), pues la materia orgánica cambia sus propiedades físicas, mejorando su estructura, incrementa la capacidad de retención de agua, es fuente importante de macro y micronutrientes para las plantas, incrementa los mecanismos de transporte de iones entre el suelo y la planta, incrementando la capacidad de intercambio catiónico y las propiedades amortiguadoras de los suelos, promueve la conversión de elementos a formas fácilmente absorbibles por las plantas, entre otras.

Los mejores resultados en el tratamiento donde se utiliza el estiércol vacuno para la preparación del sustrato, parecen estar asociados a que este presenta algo más

elevados los porcentajes de N y K que la cachaza, así como supera a esta en un 16 % de materia orgánica y posee un pH ligeramente ácido, más adecuado al cultivo de la papa que el pH de la cachaza que es ligeramente alcalino.

Al respecto, se demostró que con el uso de abonos orgánicos se podía obtener una cosecha de papas similar a la obtenida con fertilizantes químicos y se enfatiza que en suelos neutros se obtuvieron cosechas mayores con abonos orgánicos que con fertilizantes químicos (18). También se ha demostrado que con el uso de materiales orgánicos se pueden obtener mayores cosechas con mejores características, sin afectar el ambiente y mejorando los suelos (19).

En relación con el método de siembra, no se encontraron diferencias significativas para estos índices, lo cual nos dice que sería más conveniente efectuar la siembra directa en los canteros que la siembra por trasplante, que es más engorrosa y necesita más recursos y mano de obra.

Experimento 2. Diferentes dosis de estiércol vacuno en la composición del sustrato y su influencia en la producción de tuberculillos de papa

Como se puede apreciar en la Tabla VI, para el número de tuberculillos no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, mientras que para la masa de estos sí se encontraron diferencias altamente significativas, obteniéndose los mayores valores con el sustrato proporción 3:1, sin diferencias significativas con el sustrato de proporción 4:1.

Tabla VI. Número y masa de los tubérculos/m²

No.	Tratamientos	Número tubérculos/m ²	Masa tubérculos/m ² (g)
1	S + E (2:1)	192.49	307.22 bc
2	S + E (3:1)	210.71	448.16 a
3	S + E (4:1)	288.09	356.86 ab
4	S + FQ	217.85	177.74 c
	ES x	20.50 NS	41.77 **

Medias con letras comunes no difieren significativamente según Dócima de Rango Múltiple de Duncan para $P < 0.01$

El resultado más bajo fue el obtenido por el tratamiento suelo + fertilizante químico, por las razones ya explicadas con anterioridad, más la posible afectación de las plantas por la concentración de sales provenientes de los fertilizantes nitrogenado y potásico (11). Con respecto a los tipos de sustratos, se plantea que la utilización de suelo agrícola más materia orgánica en la proporción adecuada para suavizar el suelo (20), es apropiada, debiendo estar este bien fermentado, seco y mullido.

Con los materiales orgánicos se puede apreciar que a medida que se va elevando la proporción, o sea, la cantidad de materia orgánica aplicada, se va elevando la masa de los tuberculillos producida hasta cierto punto donde los rendimientos comienzan a descender.

Para facilitar la explicación de lo que sucede nos remitiremos a la Tabla VII, donde se puede apreciar que para la relación 2:1 suelo-estiércol, las cantidades de N, P y K son extremadamente altas, aunque sean elementos orgánicos y se liberen lentamente, comparados con las dosis de aplicación química que se proponen (21), que son de 100-160 kg de N, 100-200 kg de P_2O_5 y 150-250 kg de K_2O /ha.

Tabla VII. Dosis de NPK/ha según las proporciones de estiércol aplicadas. 1000 cm³ de estiércol con 25 % humedad=0.58 kg

Relación	Estiércol		N	P	K
	cm ³ /m ²	kg/m ²			
			base húmeda (t.ha ⁻¹)	base seca (t.ha ⁻¹)	(kg.ha ⁻¹)
2:1	33 333	29.0	215.76	161.82	4369.14 809.1 323.6
3:1	25 000	14.5	107.88	80.92	2184.6 404.5 161.8
4:1	20 000	11.6	86.30	64.73	1747.7 323.6 129.4

Análisis químico de estiércol:

N = 2.7 % = 27 kg/t

P = 0.55 % = 5 kg/t

K = 0.20 % = 2 kg/t

Para convertir:

$P \times 2.29 = P_2O_5$

$K \times 1.21 = K_2O$

Superficie neta de canteros para 1 ha = 7440 m².

En los trabajos que se aplicó materia orgánica al cultivo de la papa, se obtuvieron buenos resultados con 20 t.ha⁻¹ durante tres años consecutivos (22).

Sin embargo, trabajando con dosis crecientes de cachaza en papa 0, 30, 60, 90 y 120 t.ha⁻¹ incorporadas al suelo antes de la plantación, se obtuvieron los mejores resultados con el nivel de 90 t.ha⁻¹ en el primer año y con los niveles 60 y 90 t.ha⁻¹ en el segundo año, observándose en ambos casos que para el nivel 120 t.ha⁻¹ se deprimían los rendimientos (23).

En el Instructivo técnico para organopónicos y huertos intensivos (24), se plantea que la dosis de materia orgánica a aplicar en huertos intensivos será igual a 10 kg/m² (equivalente a 100 t.ha⁻¹).

Todo esto corrobora que dosis de 215 t.ha⁻¹ equivalentes a la relación 2:1 son sumamente elevadas, coincidiendo más los resultados con las dosis de materia orgánica aplicadas en las relaciones 3:1 y 4:1 equivalentes a 107 y 86 t.ha⁻¹ respectivamente.

Experimento 3. Uso combinado del sustrato suelo + estiércol vacuno, la siembra directa y el uso de diferentes biofertilizantes inoculados de forma tradicional y peletizada

Número de tubérculos por metro cuadrado. Para este índice, como se muestra en la Tabla VIII, se encontró el mayor número tanto para tubérculos totales como comerciales, cuando se inocularon las semillas con *Pseudomonas fluorescens* (tratamientos 5 y 6), donde se obtuvo un mayor efecto con la aplicación de forma tradicional que peletizada, lo cual hace pensar que al estar rodeadas las semillas de mayor cantidad de células vivas y metabolitos secundarios, que se multiplicarán en mayor cantidad, esta proporciona una mayor inducción de estolones formadores de tubérculos. Este resultado coincide con los obtenidos con anterioridad (11, 25).

Tabla VIII. Número de tubérculos por metro cuadrado

No	Tratamientos	No. tubérculos/m ²	
		Totales	Comerciales
1	<i>Azospirillum brasilense</i> (Sp.7) (Tradicional)	305.5 bcde	181.0 def
2	<i>Azospirillum brasilense</i> (Sp.7) (Peletizado)	230.5 def	133.75 g
3	<i>Pseudomonas cepacia</i> (Tradicional)	300.00 bcde	172.50 efg
4	<i>Pseudomonas cepacia</i> (Peletizado)	192.0 fg	129.75 g
5	<i>Pseudomonas fluorescens</i> (Tradicional)	495.5 a	295.25 a
6	<i>Pseudomonas fluorescens</i> (Peletizado)	351.25 b	222.25 bcd
7	Micorriza (<i>Glomus fasciculatum</i>) (Tradicional)	270.25 bcdef	184.25 cdef
8	Micorriza (<i>Glomus fasciculatum</i>) (Peletizado)	245.25 def	138.00 g
9	Micorriza+ <i>Azospirillum brasilense</i> (Tradicional)	133.50 g	82.00 gh
10	Micorriza+ <i>Azospirillum brasilense</i> (Peletizado)	246.75 def	151.00 efg
11	Micorriza+ <i>Pseudomonas cepacia</i> (Tradicional)	312.25 bcd	230.25 b
12	Micorriza+ <i>Pseudomonas cepacia</i> (Peletizado)	311.75 bcd	224.25 bc
13	Micorriza+ <i>Pseudomonas fluorescens</i> (Tradicional)	336.00 bc	182.25 cdef
14	Micorriza+ <i>Pseudomonas fluorescens</i> (Peletizado)	229.00 ef	134.50 g
15	Testigo (suelo+MO)	287.25 bcde	184.00 cdef
16	Testigo (suelo+MO+pulso de N)	260.75 cdef	145.00 fg
17	Testigo (suelo+MO+fertilizante químico)	300.00 bcde	189.50 bcde
ES x		24.54**	13.24***
CV %		17.36	15.11

Medias con letras iguales no difieren significativamente según dócima del rango múltiple de Duncan para ** P < 0.01 y *** P < 0.001

Al respecto, se ha señalado que *Pseudomonas fluorescens* tiene una influencia significativa sobre el potencial de crecimiento de las plantas y sus efectos beneficiosos han sido informado en varios cultivos (26), incluida la papa (27).

También se destaca en segundo lugar aunque con diferencia significativa el tratamiento de coinoculación: Micorriza (*Glomus fasciculatum*) + *Pseudomonas cepacia* (11, 12), ya que cuando se utilizan esos dos biofertilizantes por separado se obtiene un menor efecto, que coincide con los planteamientos de algunos autores (28), aumentando este cuando se hace la coinoculación y observándose un efecto sinérgico en la combinación de esos dos simbioses.

Las plantas micorrizadas tienen la ventaja de que el micelio externo se extiende a mayor distancia que los pelos radicales (29), favoreciendo la extracción de nutrientes. Por otra parte, se expresa que uno de los beneficios que se atribuye a las micorrizas (30) es el aumentar la actividad de otros microorganismos, como son las bacterias solubilizadoras de fósforo (género *Pseudomonas*).

Otros trabajos (28) expresan que ciertas bacterias rizosféricas tienen influencia positiva sobre la colonización de la raíz de la planta hospedante por las micorrizas; además, se plantea (28) que el efecto beneficioso de la inoculación de micorrizas en las raíces de las plantas pudiera ser estimulado por ciertas rizobacterias productoras de sustancias de crecimiento. Además, se expresa que la inoculación mixta hongo-bacteria origina una interacción sinérgica (31), obteniéndose incrementos en el crecimiento, los contenidos nutricionales y el rendimiento final de la cosecha. Se ha dado a conocer que existe una asociación espacial hongo-bacteria, donde la bacteria puede utilizar fósforo y carbono del hongo, así

como el hongo puede transportar el nitrógeno fijado por las bacterias a las plantas (32, 33). Por otra parte, también se plantea que los hongos MVA juegan un papel crucial en facilitar las funciones de la planta y los microorganismos, por actuar como mediador del intercambio de nutrientes entre ellos (34).

Según se puede apreciar en la Tabla IX, la mayor masa de los tubérculos se obtiene en el tratamiento de coinoculación: Micorriza *Glomus fasciculatum* + la rizobacteria *Pseudomonas cepacia*, coincidiendo con otros trabajos realizados (25) y reafirmando lo expuesto con anterioridad sobre los planteamientos hechos por científicos de diversos países en diferentes investigaciones, donde concuerdan con el efecto sinérgico que se obtiene cuando se ponen en contacto los tres simbiontes (las plantas de papa, los hongos micorrizógenos y las bacterias rizosféricas, en este caso la *Pseudomonas cepacia*).

Tabla IX. Masa total y comercial de los tubérculos/m²

No.	Tratamientos	Masa total (g/m ²)	Masa comercial (g/m ²)
1	<i>Azospirillum brasilense</i> (Sp-7) (Tradicional)	608.91 d e f	562.32 d e f g
2	<i>Azospirillum brasilense</i> (Sp-7) (Peletizado)	496.3 f g	457.89 g h
3	<i>Pseudomonas cepacia</i> (Tradicional)	560.0 e f g	512.71 e f g h
4	<i>Pseudomonas cepacia</i> (Peletizado)	606.52 d e f	584.12 d e f
5	<i>Pseudomonas fluorescens</i> (Tradicional)	902.44 b	826.67 b
6	<i>Pseudomonas fluorescens</i> (Peletizado)	699.10 c d	650.99 c d
7	Micorriza <i>Glomus fasciculatum</i> (Tradicional)	655.01 d e	617.16 c d e
8	Micorriza <i>Glomus fasciculatum</i> (Peletizado)	449.78 g	413.89 h
9	Micorriza + <i>A. brasilense</i> (Tradicional)	322.12 h	297.19 i
10	Micorriza + <i>A. brasilense</i> (Peletizado)	438.71 g	399.33 h i
11	Micorriza + <i>P. cepacia</i> (Tradicional)	1017.25 a	985.77 a
12	Micorriza + <i>P. cepacia</i> (Peletizado)	985.97 a b	969.85 a
13	Micorriza + <i>P. fluorescens</i> (Tradicional)	776.02 c	725.01 b c
14	Micorriza + <i>P. fluorescens</i> (Peletizado)	502.90 f g	467.37 f g h
15	Testigo absoluto (suelo + MO)	481.86 g	443.79 g h
16	Testigo absoluto + pulso de N	447.90 g	409.71 h
17	Testigo (fertilización química)	530.60 f g	480.88 f g h
	ESX	38.26***	37.26***
	CV %	12.41	12.92

Medias con letras comunes no difieren significativamente según dódima de rango múltiple de Duncan para $p < 0.001$

También se puede apreciar que no existen diferencias significativas ente el tratamiento tradicional y el peletizado, lo que nos da la medida de la gran posibilidad de multiplicación de bacterias y hongos que puede existir cuando se encuentran juntos esos dos simbiontes, micorrizas y bacterias rizosféricas.

Análisis económico. Según los resultados, se realizó el análisis económico que se observa en la Tabla X, donde se obtienen los mejores beneficios cuando se aplica el paquete tecnológico compuesto por sustrato de suelo + estiércol vacuno en la proporción 4:1, pulso de nitrógeno a razón de 60 kg.ha⁻¹ y la coinoculación de la semilla recubierta con los biofertilizantes *Glomus fasciculatum* + *Pseudomonas cepacia*. Resultados muy similares fueron obtenidos en el cultivo del tomate (33).

Tabla X. Análisis económico

Tratamientos	Valor de la producción (\$)	Valor aumento de la producción (\$)	Costo del fertilizante (\$)	Beneficio neto (\$)	Relación valor/costo
Testigo	41068.00	-	278.00	40790.00	-
Testigo FQ	42296.00	1228.00	758.00	41538.00	1.64
Micor + <i>P. cepacia</i>	49996.00	8928.00	301.00	49695.00	29.66

$$\text{Beneficio neto} = \text{Valor de la producción} (\$) - \text{Costo del fertilizante}$$

$$\text{Relación valor/costo} = \frac{\text{Valor del aumento de la producción} (\$)}{\text{Costo del fertilizante} (\$)}$$

Una relación > 1 Significa que el fertilizante aportó un beneficio
> 2 indica beneficio del 100%
> 3 Significa que el beneficio del fertilizante fue muy notable.

CONCLUSIONES

- Con el uso combinado de sustrato en proporción 4:1 de suelo + estiércol vacuno, el uso de biofertilizantes en la coinoculación de plantas y un pulso de nitrógeno de 60 kg.ha⁻¹, se obtuvieron mayores resultados que cuando se utilizaron fertilizantes químicos, destacándose entre los biofertilizantes más prominentes:
- La coinoculación con los biofertilizantes (micorriza *Glomus fasciculatum* + *Pseudomonas cepacia* peletizada).
- Con el uso de esta tecnología solamente se utilizarían 60 kg/ha N, dejándose de emplear 237 kg N, 297 kg P₂O₅ y 223 kg K₂O/ha.
- Se reducen los costos de producción por disminuirse las compras de fertilizante químico y, además, se aumenta la ganancia.
- Se hace un manejo más ecológico y sostenible del cultivo.

RECOMENDACIONES

- * Profundizar en el estudio de inoculaciones con biofertilizantes en distintas variedades y progenies híbridas.
- * Introducir esta tecnología de producción de tubérculos-semilla de papa en la producción .

REFERENCIAS

1. Guzman, J.; Gomez, Y. y Tencio, R. Manejo sostenible de la papa en Costa Rica. En: Memorias. XIX Congreso de la Asociación Latinoamericana de la papa (ALAP). (19:2000 feb. 28- mar 3 : La Habana) p.213.
2. CIP. Brasil Logra autoabastecimiento de semilla. Informe Anual, 1997. 24p.
3. Rodríguez, J. M ; Rodríguez, Y.; Serrano, A.; Salomón, J. y González, E. Resultados y perspectivas de la producción de papa a partir de semilla sexual en la República de Cuba. En: Evento Científico: Producción de cultivos en condiciones tropicales. Resúmenes. (1997: Quivicán). p. 13.

4. Salomón, J. L.; Rodríguez, J. M.; Serrano, A.; Hernández, A. y Miranda, R. La semilla sexual, una alternativa tecnológica para la producción de tubérculos semilla de papa en Cuba. En: Memorias. XIX Congreso de la Asociación Latinoamericana de la Papa (ALAP). (19:2000 feb 28 mar. 3: p.213.)
5. Salomón, J. L. Estudio y selección de progenies híbridas de semilla sexual de papa (*Solanum tuberosum*, L.) en Cuba. [Tesis de Maestría]. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana, 2001. p. 30.
6. Struik, P. y Wiersema, S. G. Seed potato technology. Wageningen. Wageningen Pers, 1999. 383 p.
7. Bejo company. Introduction to potato hybrids, Potato Products International Ltd. The Netherlands, <http://www.bejoseeds.com/potato> [Consulta: 9 mayo 2000].
8. Cuba. Ministerio de la Agricultura. Instituto de Suelos. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. La Habana, Agrinford, 1999.
9. Gomez, R. Tecnología para peletizar semillas con biofertilizantes, una nueva opción para sustituir o reducirlos insumos químicos para lograr una agricultura más ecológica y sustentable. En: Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica. Libro Resúmenes. (2:1995: La Habana).
10. FAO. Los fertilizantes y su empleo. Roma. FAO, 1980. 54 p.
11. Hernández, A.; Corbera, J. y Plana, R. Manejo agronómico de sustratos, biofertilizantes y métodos de siembra, en la producción sostenible de tubérculos-semilla de papa por semilla sexual. En: Taller Nacional de Producción de papas en los Trópicos. Compendio de Exposiciones. (3:1999: La Habana). p. 107-110.
12. Curso Latinoamericano de producción de papa con semilla sexual. Problemas en la producción de SSP detectados por los participantes. Lima. CIP, 1997. 250p.
13. Neugebauer, B.; Ahumada, M. y Bunch, R. Agricultura ecológicamente apropiada. Fundación Alemana para el Desarrollo Internacional. Centro de fomento para la agricultura y la alimentación. RFA, 1992. 184 p.
14. Rodríguez-Kabana, R. Nematode control through the use of organic amendmets. En: International Congress of Plant Pathology (6:1993 jul 28-aug.6 : Montreal).
15. Vandevivere, P. Control de calidad de los abonos orgánicos por medio de bioensayos. En: Simposio Centroamericano sobre Agricultura Orgánica. (1995 marz. 6-11: Costa Rica).
16. Argentina. Fundación EXPORTAR. Productos Orgánicos de Argentina. Ministerio de Relaciones Exteriores Comercio Internacional y Culto, 1996.
17. Rodríguez, B. A. Generalidades del Cultivo de la papa en Colombia. En : Vademecum del cultivo de la papa. Colombia. FEDEPAPA, 1996-97 p.9.
18. Altieri, M. Investigación y ciencia en la agricultura alternativa. Agroecología y Desarrollo, 1992, vol. 4.
19. Treto, E.; García, M.; Martínez, V. R., y Febles, J. M. Avance en el manejo de los suelos y la nutrición orgánica. Transformando el campo cubano. Avances en la agricultura sostenible. En: Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica. (4:2001: La Habana) p.167-190.
20. Cabello, R. Preparación del suelo para los almácigos en: Manual de producción de papa con semilla sexual. Lima. CIP, 1996. 9 p.
21. Cuba. Dirección de Normalización, metrología y control de la calidad. Norma técnica ramal 535 para el cultivo de la papa, 1982. 18p.
22. Deroncelé, E.; Guerra, A y Froser, T. La fertilización de la papa. En: Reunión Nacional de Agroquímica. (1:1983 : La Habana), p. 66.
23. Cepero, L.; A. González y Cruz, N. Efecto de la cachaza sobre el rendimiento y la calidad de la papa. En: Conferencia Científica de Profesores. (2:1984 oct: Bayamo).
24. Cuba. MINAGRI. Comisión Nacional de Organopónicos y Huertos Intensivos. Instructivo técnico para organopónicos y huertos intensivos. La Habana, MINAGRI, 1998. 74 p.
25. Hernández, A. Manejo agronómico de sustratos, biofertilizantes y métodos de siembra, en la producción sostenible de tubérculos-semillade papa por semilla sexual. [Tesis de Maestría]. ISCAH, 1998. 64p.
26. Parker, J. L y Rand, R. E. Biological control of *Pythium* damping off and *Aphanomyces* Root of Peas by application of *Pseudomonas cepacia* or *P. fluorescens* to seed. *Plant Dis.* 1991, vol 75, p. 987-992.
27. Waschkie, C.; Schropp, A. y Marschner, H. Relation between grapevine replant diseases and root colonization of grapevine (*Vitis* sp.) by fluorescent *Pseudomonads* and endomycorrhizal fungi. *Plant and Soil*, 1994, vol. 162, p. 219-227.
28. INRA. Agronomie Science des Productions Vegetales et de L'enviroment. AGRANZ, 1992, vol. 26, no. 6, p. 413-488.
29. Blanco, A. F. y Salas, A. E. Micorrizas en la Agricultura: Contexto mundial e investigación realizada en Costa Rica. Agronomía costarricense. 1997, vol 21, no. 1, p. 55-59.
30. Sanchez de Prager, M. La simbiosis micorrizica vesículo-arbuscular (MVA) en soya (*Glycine max* L, Merrill). Universidad Nacional de Colombia. *Boletín técnico*, 1991, no. 2, p. 53.
31. Bashan, Y.; Holguin, G. y Ferrera-Cerrato, R. Interacciones entre plantas y micro organismos benéficos. II. Bacterias asociativas de la rizosfera. *Terra*, 1996, vol. 14, no. 2, p. 195-210.
32. Terry, E. Efectividad agronómica de biofertilizantes en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). [Tesis de Maestría]. ISCAH, 1998. 73 p.
33. Terry, E.; Pino, M. A. y Medina, N. Efectividad agronómica de AZOFERT y ECOMIC en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Cultivos Tropicales*, 1998, vol. 19, no. 3, p. 33-37.
34. Azcón, R. Papel de la simbiosis micorrízica y su interacción con otros microorganismos rizosféricos en el crecimiento vegetativo y sostenibilidad agrícola. Ecología, Fisiología y Biotecnología de la Micorriza Arbuscular. Madrid. Mundi Prensa, 2000, p. 15.

Recibido: 4 de mayo del 2001

Aceptado: 12 de septiembre del 2001