

Revisión bibliográfica

## **La reproducción de tubérculos de papa (*Solanum tuberosum* L.), a partir de su semilla sexual**

Yadira López-Ramos<sup>1\*</sup> 

Jorge L. Salomón-Díaz<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), carretera San José-Tapaste, km 3½, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32 700

\* Autor para correspondencia: [yadiral@inca.edu.cu](mailto:yadiral@inca.edu.cu)

### **RESUMEN**

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es uno de los cultivos alimenticios de mayor importancia a escala mundial, por sus altos valores nutricionales, su gran demanda entre los pobladores y por su elevada producción en corto tiempo. Para su reproducción se utilizan propágulos o tubérculos que para Cuba son importados y resultan muy costosos; por ello, el objetivo de esta revisión, fue lograr una actualización sobre el estado del arte de la reproducción de tubérculos de papa, a partir de su semilla sexual a escala internacional y nacional. La revisión de la bibliografía internacional mostró que las investigaciones realizadas han estado dirigidas a la obtención de nuevas variedades, dentro de la especialidad de la genética y, en Cuba, los trabajos realizados hace tres décadas, no fueron concluidos, por lo que no se ha logrado aún una tecnología alternativa al acceso de los agricultores para el uso de ésta técnica. Tampoco se cuenta con la información que muestre lo que falta por hacer para tal logro. Los resultados de la revisión permitieron visualizar las bondades y las limitaciones de esta modalidad productiva, para sus posibles beneficios económicos, ecológicos y sociales, si se lograra su implementación en Cuba, algo sobre lo cual no se investiga en la actualidad.

**Palabras clave:** soberanía alimentaria, sostenibilidad, tecnología, propagación, tubérculos, resiliencia

Recibido: 22/10/2020

Aceptado: 20/09/2021

## INTRODUCCIÓN

La papa es hoy uno de los cultivos más importantes en la dieta alimenticia a escala mundial, ocupando el cuarto lugar después del arroz (*Oryza sativa* L.), el trigo (*Triticum* spp.) y el maíz (*Zea mays* L.) <sup>(1)</sup>. Cuenta con una producción anual de 321,9 millones de toneladas en 18,6 millones de hectáreas, para un rendimiento promedio de 17,3 t ha<sup>-1</sup>. China es el primer productor de papa a escala mundial con 73,7 millones de toneladas, seguida de la Federación Rusa con 36,4 t ha<sup>-1</sup>, India con 25,0 t ha<sup>-1</sup> y Ucrania con 19,3 t ha<sup>-1</sup> <sup>(2)</sup>.

Según informó el Ministerio de Agricultura y Riego en América Latina se mantiene el Perú como el principal productor de papa, en la región con una producción anual de 5,3 millones de toneladas registradas en el 2019, cuyo volumen sirve para mitigar las necesidades alimenticias de ese país, que cuenta con una población de 32 millones de consumidores. Ese volumen de producción del tubérculo andino, confirma al Perú con el lugar 14, entre los productores de papa a escala mundial, sólo superado en orden descendiente por Canadá, Turquía, Irán, Francia, Belarús, Países Bajos, Alemania, Ucrania, Estados Unidos, Polonia, India, Rusia y China, que ocupa el primer lugar <sup>(3)</sup>.

En Cuba, la papa ocupa el primer lugar en producción, entre los cultivos de raíces y tubérculos y anualmente se plantan en promedio 7 515 ha, con un rendimiento medio de 22,02 t ha<sup>-1</sup> y una producción anual de 165 508,6 t <sup>(4)</sup>.

Toda la papa que se produce a escala mundial se hace a través del uso de tubérculos como material de plantación, de lo cual Cuba no está exenta, con el inconveniente de que dicho material de plantación es importado, fundamentalmente desde Europa, junto a un paquete tecnológico para su producción a un costo demasiado elevado. Esa realidad y considerando la necesidad de disminuir al mínimo las importaciones <sup>(5)</sup>, se hace necesario encontrar otras alternativas más sostenibles y resilientes, que acompañen las tecnologías establecidas y, a la vez, contribuyan a incrementar en superficie su cultivo, con rentabilidad productiva hacia un mayor acercamiento a la Soberanía Alimentaria <sup>(6)</sup>.

La reproducción de semilla de papa, a través de la semilla sexual, es una técnica ancestral, devenida de los primeros pobladores de América del Sur, Centro de origen de esta solanácea <sup>(7)</sup>.

Sin embargo, las crecientes exigencias alimentarias existentes a escala mundial, ha ocasionado el abandono de técnicas tradicionales, sustituidas por las que generan mayor productividad en el tiempo, debido al crecimiento de las grandes ciudades, que demandan grandes volúmenes de alimentos en corto tiempo y las exigencias de calidad y uniformidad que impone la dinámica del comercio internacional.

La papa, en particular, es un alimento que es consumido por más de mil millones de consumidores de todo el mundo, según estimaciones, lo que ha generalizado la reproducción por propágulos que parece ser el método más productivo en menor tiempo <sup>(2)</sup>.

Cuba, que cuenta con escasos recursos financieros, importa a un elevado costo, todos los propágulos para las plantaciones anuales, sin que exista una alternativa reproductiva, que evite las importaciones o contribuya a suplir la demanda nacional. La reproducción de tubérculos a través de la semilla botánica, es una opción que pudiera resultar para Cuba más sostenible y resiliente, para incrementar la producción de este demandado alimento. Por esas razones el objetivo de esta revisión fue lograr una actualización sobre el estado del arte de la reproducción de tubérculos de papa, a partir de su semilla sexual a escala internacional y nacional; ello permitirá visualizar sus bondades y limitaciones y los posibles beneficios económicos, ecológicos y sociales con su implementación en Cuba.

### **Importancia de la reproducción de papa a través de la semilla botánica**

La literatura revisada indica la existencia de otras alternativas de plantación a través de los tubérculos, como es el uso de las yemas que brotan desde el tubérculo después de su período de latencia, lo cual permite elevar considerablemente el número de plantas por cada tubérculo; la producción de plántulas, a través de cultivo de tejido, método novedosos de la biotecnología agraria y la producción de tubérculos, a partir de la semilla botánica, la cual es recogida en la literatura como una opción, cuya mayor utilización ha sido en trabajos para la propagación de variedades de interés genético. Sobre esta última opción centra el análisis de esta revisión <sup>(8)</sup>.

La papa se puede reproducir a través de su semilla sexual, conocida también como semilla botánica o verdadera y por sus siglas en inglés como TPS (True Potato Seeds) <sup>(5,6)</sup>. Para lograrlo, las semillas son extraídas de las bayas y son utilizadas entonces como material de reproducción, una opción tecnológica innovadora de bajo costo, dado que los tubérculos obtenidos están libres de muchos virus y enfermedades y, aun cuando no se cuenta con un estudio económico de sus costos, se considera que esta técnica es relativamente barata, no requiere grandes capacidades refrigeradas para su conservación y el material resultante de su proceso de obtención es mucho más fácil de transportar <sup>(9)</sup>.

La semilla sexual de papa es utilizada actualmente por los agricultores en, al menos, una docena de países, entre ellos China, India, Nepal, Bangladesh, Vietnam, Perú, Nicaragua y Venezuela. Las estimaciones de superficies cultivadas con semilla sexual de papa y materiales de plantación derivados de ella, son difíciles de adquirir, porque las estimaciones dependen de la medida en que las generaciones posteriores de materiales de semilla sexual de papa, puede ser rastreado y ser incluido en las estimaciones <sup>(10)</sup>.

Pero la mayor importancia que tiene la producción de papa, a partir de la semilla botánica, es que pudiera ser utilizada por los productores *in situ* y prescindir de la semilla importada que, por demás, resulta muy costosa. Si bien la comercialización del producto obtenido puede ser poca atractiva para la comercialización, por su diversidad de colores y formas, no deja de ser una alternativa importante para

la alimentación de las familias y vecinos de las comunidades rurales, sin dejar de mencionar su importancia para la alimentación animal <sup>(11)</sup>.

### **Análisis retrospectivo de la tecnología de la reproducción de papa a partir de su semilla sexual a escala internacional**

La literatura revisada hace referencia a que la papa fue domesticada por los ancestros de los agricultores andinos y fue cultivada por lo menos desde hace más de 7000 años. De acuerdo con la distribución de las primeras papas cultivadas que se conoce y de las especies silvestres más afines, parece probable que el cultivo de este tubérculo se iniciara en la región del Lago Titicaca, entre 3,500 y 4,500 metros sobre el nivel del mar. Es además, en esta región, donde se encuentra una mayor variación en sus formas cultivadas y especies silvestres correspondientes <sup>(2)</sup>.

Con el paso del tiempo el hombre andino obtuvo cientos de variedades, extendiendo el cultivo de la papa por casi toda la región andina, ocupando las regiones altas de Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y Chile. En esta época coincidió con la llegada de los españoles a Sudamérica, quienes la introdujeron en Europa a finales del siglo XVI, siendo dispersada posteriormente por todo el mundo, debido al intercambio comercial <sup>(12)</sup>.

Históricamente se ha discutido, de forma amplia, acerca de las especies que dieron origen a la papa cultivada entre 6000 y 10000 años atrás, en los Andes del sur de Perú.

Teniendo en cuenta los rasgos morfológicos y fitogeográficos, se cree que *S. stenotomum*, se originó de las especies silvestres *Solanum bukasovii*, *S. canasense* y *S. multissectum*, pertenecientes al complejo *S. brevicaulle* que es considerada la primera papa domesticada. Ésta a su vez, habría dado origen a *S. andigena*, a través de repetidos procesos de poliploidización sexual en diferentes zonas de cultivo, con la consiguiente hibridación interespecífica e intervarietal, que permitió ampliar la diversidad y la adaptabilidad genética de la papa de los Andes. La evidencia de la historia folclórica andina muestra que los agricultores de las tierras altas, usaron la semilla sexual para limpiar periódicamente sus materiales de siembra y aumentar la producción <sup>(13)</sup>.

### **La reproducción de la papa a través de la semilla sexual en la época moderna**

Las primeras investigaciones en semilla sexual de papa de la época llamada moderna se llevó a cabo en La República Popular China, en 1959 y ya en los inicios de 1960, comenzó a producir a gran escala con este tipo de semilla; por ello, ese país es considerado pionero en estos estudios <sup>(14,15)</sup>.

En América Latina, fue el Centro Internacional de la Papa (CIP) quien en 1977 inició un estudio acerca del mejoramiento genético y experimentos agronómicos que se dieron a conocer como la tecnología para la reproducción de la SSP. Las primeras presentaciones sobre el tema fueron publicadas en 1983-1984

en las Actas de la Investigación de la Papa, para el año 2000 <sup>(16)</sup> y en la 28 Conferencia de Planificación sobre métodos innovadores en el CIP para la propagación de papa <sup>(17)</sup>.

Un intenso programa de investigación agronómica se llevó a cabo por el Departamento de Fisiología del CIP en su sede y sus estaciones experimentales, ubicadas en Perú, durante la década de los 80 del siglo XX, desde el punto de vista agronómico el punto de partida fue la experiencia desarrollada cultivando plántulas de SSP, producidas a partir de cruzamientos. Pero en particular, los informes de la tecnología innovadora del uso extensivo de semilla sexual de papa (SSP) reportados en China, aumentó el entusiasmo en los círculos del CIP. Por ello en 1984, más de 34 países experimentaban con SSP y sus resultados fueron utilizados por los agricultores en cinco países de la región <sup>(18)</sup>.

Se tiene evidencia, además, del uso ocasional de semilla botánica en el Perú y Bolivia, tales referencias acerca del uso de esa técnica fue descrita por los descendientes de los Incas en los alrededores del Cuzco <sup>(19)</sup>.

En 1989, Burton en su libro “La Papa” en su (tercera edición), había integrado un capítulo sobre la propagación por semilla botánica y desde entonces, la tecnología se ha experimentado, integrada y adaptada a una amplia gama de países. En la década del 90 del siglo XX, el CIP redujo sus investigaciones relacionadas con SSP, hasta que fue eliminado gradualmente en la primera década del siglo XXI, años del 2000. Para esta fecha ya se contaba con conocimiento suficiente para formular protocolos, para romper la latencia y pruebas de calidad de la semilla <sup>(10)</sup>.

Las experiencias positivas de la experimentación con SSP en Asia Central han dejado claro que dicha tecnología mantiene la atracción de nuevos países y empresas productoras de semilla, lo cual se refleja en las solicitudes de cursos en la temática, sobre todo entre investigadores de países de América Latina.

Sin embargo, no todas las opciones para la mejora de la tecnología están totalmente exploradas. La tecnología puede ser mejorada aún más, especialmente a través de las investigaciones relacionadas con la genética y la calidad de la semilla <sup>(12)</sup>.

### **La reproducción sexual de la papa en Cuba. Su importancia**

La referencia más antigua encontrada sobre la reproducción sexual de la papa en Cuba se remonta a los resultados de los cruzamientos realizados en la década del 80 del siglo XX, con el fin de seleccionar variedades clonales. La literatura menciona que a través de la semilla botánica, la mayoría de los virus no se transmiten a través de ella <sup>(10)</sup>, excepto: el virus a partir del material disponible.

En la década del 90 del siglo XX se inició un proyecto de investigación en este tema llamado producción de papa, a partir de semilla sexual. Los experimentos fueron realizados en el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas y en la estación experimental de la Liliana Dimitrova y la extensión de los resultados, en el municipio especial de la Isla de la Juventud. Se evaluaron aspectos como la selección de pro génesis

híbrida, fertilización y manejo de semilla. Algunos de estos resultados fueron reflejados en la Guía para la producción de tubérculos-semillas de papa, a partir de semilla sexual <sup>(12)</sup>. Al culminar el proyecto, no se les dio continuidad a dichos estudios. En la actualidad existe un proyecto de mejoramiento genético y tecnología para la obtención de semilla botánica, que se desarrolla en el INCA.

Sin embargo, aún no se tienen resultados conclusivos, razones que aconsejan continuar profundizando en la temática, hasta lograr una tecnología sobre bases agroecológicas que posibilite su utilización en la práctica productiva, lo que contribuiría a la Seguridad Alimentaria del país en momentos de escasos recursos financieros y respondería al llamado de la Ciencia Cubana a trabajar por la reducción de las importaciones. En Cuba la producción de tubérculos para ser utilizados como “semilla” representa entre 40-70 % del costo de la producción. Las poblaciones elevadas de áfidos y otros insecto, además de la presencia de enfermedades durante todo el año, dificultan la elaboración de un programa nacional de semilla de papa, por ello se importa cada año con su paquete tecnológico <sup>(20)</sup>.

Por otra parte, si se lograra producir papa a partir de la semilla botánica, lo suficientemente abundante como para suplir necesidades de las comunidades, mediante la participación de los agricultores locales, la importación de los tubérculos como “semilla” disminuiría paulatinamente, haciendo el proceso de producción de papa más sostenible y robusto, a favor de la soberanía alimentaria del país, aun cuando el propósito de implementar un programa adicional, no persigue sustituir el establecido.

## **Ventajas y limitaciones de la reproducción de la papa través de la semilla botánica**

### **Principales ventajas de la reproducción de la papa través de la semilla botánica**

Cuando la producción de tubérculos proviene de semilla botánica, se rescata la variabilidad genética; las plantas obtenidas de semilla botánica tienen raíz pivotante, lo que puede favorecer un mejor anclaje y absorción de agua y nutrientes. Se obtiene una producción con altos niveles de sanidad, papas libres de nematodos, insectos, bacterias, hongos y la mayoría de los virus. Además los tubérculos provenientes de semilla botánica pueden ser producidos en programas nacionales de multiplicación como semilla básica, o también por agricultores individuales o cooperativistas, pues como es fácil distribuir la semilla botánica a cualquier zona productora del cultivo de papa, se pueden producir los tubérculos de primera generación como semilla en la proximidad de zonas donde se produce papa de consumo y evitar la transportación de tubérculos-“semilla”, desde largas instancias <sup>(21)</sup>.

Otros de los beneficios importantes del uso de la SSP es su flexibilidad tecnológica, por cuanto las semillas pueden ser sembradas directamente en el campo, trasplantar sus posturas y producirlas en semilleros. Los tubérculos cosechados pueden ser enviados al mercado o usarse como material para la reproducción <sup>(10)</sup>.

### **Aspectos que tienen que ver con la rentabilidad económica y la Soberanía Alimentaria**

Para plantar una ha de papa, los agricultores requieren de 2 a 5 toneladas de tubérculos, que, de no ser utilizados como material de plantación, servirían para el consumo; sin embargo, a través de la semilla botánica bastan de 50 a 150 gramos de semillas sexuales, para plantar esta misma superficie. El costo de la SSP para instalar una hectárea, constituye el 2,4 % (\$USD 30,00) del costo del volumen, equivalente a la de los tubérculos, para plantar la misma superficie (\$USD 1 250 00) y elimina, a la vez, los elevados costos de transporte de estos últimos, desde su lugar de producción <sup>(9)</sup>.

La semilla sexual también proporciona al agricultor mayor independencia de decidir la conveniencia y la oportunidad para sembrar, debido a que su almacenamiento no está condicionado por el brote de las yemas <sup>(2)</sup>. La principal ventaja del uso de semilla sexual, es la posible incorporación a la producción de papa de una alta potencialidad de agricultores que no dependerían de las importaciones que actualmente se realizan para la producción nacional <sup>(10)</sup>.

### **Principales desventajas de la reproducción de la papa través de la semilla botánica**

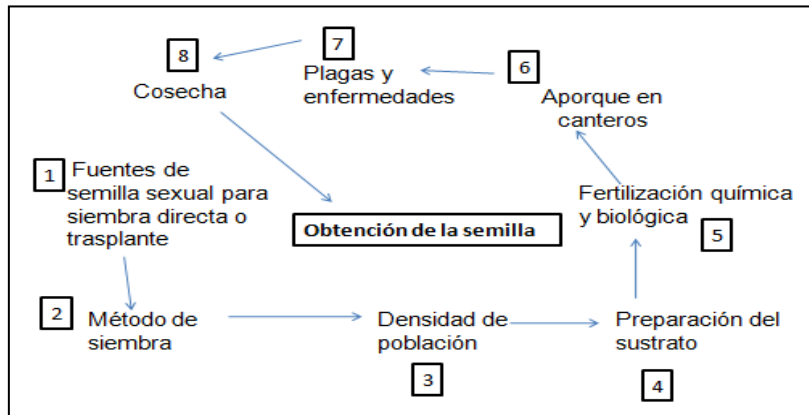
La SSP también tiene algunos inconvenientes, dentro de los cuales los más significativos se señalan a continuación: requiere de más trabajo y demanda un cambio de costumbres; requiere variedades que florezcan adecuadamente; produce menor uniformidad en el tamaño de los tubérculos y no se dispone de semilla certificada que garantice la calidad, posee un ciclo más largo más vulnerable a los factores bióticos y abióticos <sup>(22,23)</sup>.

Sin embargo, la mayoría de las limitaciones pudieran ser sorteadas a través de las investigaciones que puedan realizarse prospectivamente, en función del perfeccionamiento de la tecnología. Además de tener presente los cambios que se están generando en las condiciones climáticas para el establecimiento espacial y temporal de las siembras de forma conveniente y oportuna.

### **Aspectos tecnológicos determinantes para la SSP**

Los aspectos tecnológicos de mayor relevancia se muestran en la Figura 1.





**Figura 1.** Esquema de los principales aspectos tecnológicos de la SSP

### Fuentes de semilla sexual de papa

La fuente de producción de semilla sexual de papa, está en la capacidad que tenga determinada variedad de florecer, ser fecundada de forma natural o artificial y formar bayas que contienen las semillas, que después de maduras se extraerán para ser utilizadas en la siembra.

La semilla de polinización libre puede ser producida a bajo costo y con ella se han logrado buenos rendimientos de tubérculos. Es importante que las bayas sean recolectadas de las mejores variedades locales. Después de extraer las semillas de las bayas, hay que eliminar las semillas pequeñas y de color oscuro, porque tienen germinación y crecimiento deficientes <sup>(10)</sup>.

En Cuba los investigadores han aprendido a utilizar las mejores combinaciones de padres para producir una semilla sexual híbrida; por ejemplo, TS-6 x TPS-67 y Serrana x TPS-113 <sup>(24)</sup>.

### Actividades fitotécnicas

#### Método de siembra

La SSP puede utilizarse para la producción de propágulos para la nueva plantación o para la alimentación, lo cual se logra en tres formas diferentes: siembra directa a campo, siembra en canteros en altas densidades para producir minitubérculos y semillero en cantero para trasplante de plántulas a campo <sup>(25)</sup>.

La producción de la primera generación de tubérculos de semillero está determinada por las condiciones climáticas de la localidad y los sistemas agrícolas locales que imponen las características de la producción en cuanto a rendimiento y tamaño de los tubérculos <sup>(12)</sup>.

La semilla sexual se puede utilizar con dos fines diferentes: donde las papas pueden ser producidas directamente en campo, a partir de la semilla y con el fin de producir tuberculillos para ser utilizados posteriormente como "semilla" en una segunda cosecha o incluso en repetidas generaciones <sup>(10,25)</sup>.

Existen diferentes métodos de siembra para la producción de tubérculos: siembra directa en camas y trasplante de posturas a las camas <sup>(26)</sup>.



La siembra directa en camas consiste en sembrar tres o cuatro semillas por nido a la distancia de 10 x 10 cm; después de la emergencia se ralean las plantas hasta dejar 100/m<sup>2</sup>.

El trasplante de posturas a las camas consiste en lo siguiente: se cultivan las plantas en bandejas y se trasplantan a las camas a los 35 días después de la siembra, a la distancia de 10 x 10 cm (con este método es necesario más mano de obra y se retarda 20 días el ciclo vegetativo de las plantas, debido al estrés del trasplante).

Al probarse los dos métodos de siembra: siembra directa y trasplante <sup>(27)</sup>, se observó que las plantas trasplantadas a los 35 días sufrieron un retraso de 10 días, comparadas con las de siembra directa y que más del 90 % de los tubérculos de siembra directa se formaron entre los 45 y 55 días después de la siembra, mientras que los de las plantas trasplantadas se forman entre los 35 y 63 días posteriores.

El número total de tubérculos en la cosecha final fue similar en los dos métodos de siembra, con una duración total de 110 días en las plantas de siembra directa y 125 días las de trasplante.

La tecnología más usada es la producción de tuberculillos en canteros.

Cuando la SSP es utilizada en canteros, son menos los requerimientos para una buena germinación y crecimiento de las plántulas. Además, la producción de tuberculillos no requiere altos insumos para trasplante, las plantas no sufren estrés y el manejo es mejor controlado en pequeñas áreas protegidas que en el campo <sup>(23,28)</sup>.

### **Densidad de población en canteros para producir tuberculillos**

Una población alta de plantas tiene un efecto positivo sobre el número de tubérculos utilizables producidos por unidad de área. Los estudios de la densidad de población en el CIP muestran que la población óptima de plantas, después del raleo, debería ser, por lo menos, de 100 plantas/m<sup>2</sup>; para obtener esta densidad de población, se puede sembrar la semilla botánica a 10 cm de distancia entre hileras y a dos o tres centímetros entre semillas. Luego se ralean las plantas en cada hilera, dejando más o menos 10 cm entre las plantas; así se obtiene una distancia final de 10 x 10 cm entre las plantas <sup>(21)</sup>.

La siembra se realiza en puntos (nidos) y la distancia entre cada punto debe ser de 10 cm, obteniéndose 100 puntos de siembra/m<sup>2</sup> de cantero; en cada punto se depositan dos o tres semillas a una profundidad de 0,5 cm y luego se cubren ligeramente con suelo o sustrato. Después del raleo y replante en los puntos sin plantas, debe quedar una planta como punto de siembra. Esta densidad permite producir plántulas vigorosas, aumenta la circulación del aire y disminuye la aparición de enfermedades fungosas, como la caída de plántulas y otras que atacan el follaje <sup>(10)</sup>.

En experimentos realizados anteriormente por el autor, probando dos densidades de población de 50 y 100 plantas/m<sup>2</sup>, se obtuvo el mayor número de tubérculos totales con 100 plantas/m<sup>2</sup> de diferentes

calibres en gran número, excepto calibres mayores de 40 g, en el cual el número de tubérculos fue igual al número de plantas <sup>(27)</sup>.

### **Preparación del sustrato**

Las plántulas de papa necesitan un sustrato que contenga un alto porcentaje de materia orgánica y una cantidad muy limitada de arcilla. Demasiada arcilla endurece el sustrato. Un sustrato adecuado, medido en volúmenes, puede ser: cuatro partes de arena+cuatro partes de materia orgánica (compost o musgo) y de 0 a dos partes de suelo franco u orgánico <sup>(21)</sup>.

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<sup>-1</sup>, se obtuvieron mayores resultados que cuando se utilizaron fertilizantes químicos <sup>(29)</sup>.

Algunos autores realizaron estudios donde probaron tres sustratos: suelo+cachaza (2:1), suelo+estiércol vacuno (2:1) y suelo+fertilización química, utilizaron dos métodos de siembra (directa y por trasplante), obteniendo resultados satisfactorios con el sustrato suelo+estiércol vacuno (2:1), tanto para el número de tubérculos por m<sup>2</sup>, como para la masa fresca por m<sup>2</sup> <sup>(30)</sup>.

Al utilizar distintas proporciones de suelo Ferralítico Rojo compactado con estiércol vacuno (2:1,3:1 y 4:1), se obtienen los mejores resultados con la proporción 4:1, equivalente a 11,6 kg de estiércol/m<sup>2</sup> (86 t ha<sup>-1</sup>) base húmeda con un 25 % de humedad <sup>(31)</sup>.

### **Fertilización química y biológica**

Dos semanas después de la germinación (24 días después de la siembra, aproximadamente) se realiza la primera fertilización foliar, aplicando 10 litros de disolución por cada 5 m<sup>2</sup> de canteros, con una proporción de 1 gramo de urea por cada litro de agua. La segunda fertilización foliar se realiza seis días después de la primera, con una proporción de 2 gramos de urea por cada litro de agua <sup>(12)</sup>.

La primera fertilización fraccionada se debe realizar a los 15 días después de la siembra, aplicando 275 g de urea o 390 g de nitrato de amonio; la segunda a los 22 días después de la siembra, aplicando 623 g de urea o 917 g de nitrato de amonio y la tercera a los 22 días después de la siembra, aplicando 623 g de urea o 917 g de nitrato de amonio y 780 g de sulfato de potasio <sup>(25)</sup>.

Con la inoculación de semillas sexuales de papa con biofertilizantes, tales como *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas scepacia*, *Azospirillum brasilense* Sp-7 y la coinoculación *Azospirillum brasilense* Sp-7+Micorriza *Glomus fasciculatum*, sembradas en canteros con sustrato de suelo+estiércol vacuno en proporción 4:1 y una aplicación de 60 kg de N ha<sup>-1</sup>, se pueden obtener rendimientos superiores en tubérculos-semilla por hectárea que con los métodos tradicionales, con el consiguiente ahorro de fertilizantes químicos y preservando el equilibrio ecológico del ecosistema <sup>(29)</sup>.

### **Aporque en canteros**

De una buena aplicación de tierra alrededor de la planta para sostenerla, depende la máxima producción de tubérculos por planta. Si el aporque es deficiente, los estolones al quedar expuestos al aire no se convierten en tubérculos sino en ramas. Se realizan dos aporques, el primero inmediatamente después de raleo y el segundo a los 15 días después <sup>(24,25)</sup>.

Después del segundo aporque los tallos deben quedar cubiertos de 4-6 cm por encima del nivel inicial del cantero, la conformación final de los pequeños surcos debe ser redondeada en cada hilera de plantas y así asegurar que las raíces y los estolones no salgan a la superficie <sup>(12)</sup>.

El aporque tiende a incrementar el número de tubérculos por planta; puede, además, proporcionar una mejor protección contra las plagas. Se puede afectar el aporque, agregando a los almácigos una capa del sustrato de 4 a 6 cm de altura, dividiendo esta cantidad en dos operaciones de aporque. Se debe terminar de aporcar antes de que las plantas lleguen a tocarse unas con otras <sup>(10,25)</sup>.

### **Plagas y enfermedades. Su manejo**

Los patógenos vegetales, tales como nematodos, hongos, bacterias, micoplasmas, virus y viroides, pueden ser transmitidos de plantas enfermas a los tubérculos-semilla. Sin embargo, cuando la reproducción es por semilla sexual de papa estas enfermedades comunes de la papa no son transmitidas de plantas enfermas a las semillas sexual; por tanto, no son portadora de muchas de ellas. Solo muy pocas enfermedades virosas y un viroide así que, los tubérculos-semilla provenientes de la semilla sexual de papa presentan excelente calidad fitosanitaria, por lo que no transmitirán tampoco muchas enfermedades a la próxima generación. Reportes bien documentados sobre transmisión de enfermedades por la semilla sexual de papa son: el virus T de la papa, el viroide ahusado del tubérculo, el virus del moteado del tabaco y el virus latente andino de la papa <sup>(32)</sup>.

### **Cosecha**

Normalmente entre los 90-120 días después de la siembra, dependiendo de la progenie utilizada, las plantas estarán listas para ser cosechadas, lo que se reconoce por un amarillamiento general. Se procede entonces a cortar el follaje al nivel del suelo, para cosechar 10-15 días más tarde. Los tubérculos que estén expuestos al sol después de la defoliación deben cubrirse con suelo para evitar que se produzcan pudriciones. Se aplican riegos ligeros durante esta etapa para mantener la humedad y mullido del suelo <sup>(10)</sup>.

### **Conservación de la semilla**

Los tubérculos-semilla provenientes de SSP se almacenarán bajo los mismos requerimientos de la Norma Ramal para el cultivo de la papa, con la diferencia de que los calibres menores de 30 mm deben ser almacenados en cajas de no más de 25 kg <sup>(12)</sup>.

## **CONCLUSIONES**

La tecnología de SSP para la producción de papa, es una alternativa viable, pertinente y apropiada, que se adecua a las condiciones de los agricultores cubanos, para su posible implementación, la cual sin dudas, contribuirá a la seguridad alimentaria local, sin la utilización de recursos externos e insumos de importación.

## **RECOMENDACIONES**

1. Que se inicie un programa dirigido a la producción de semilla sexual de papa para llevar a la práctica productiva esta alternativa, con vistas a incrementar las disponibilidades de material de reproducción de papa para consumo y fortalecer las disponibilidades de propágulos para la reproducción de papa
2. Que se desarrolle, simultáneamente, una investigación que defina la viabilidad económica de la nueva propuesta, asumiendo como referente los gastos que se incurren para su adquisición, a través de su importación.
3. Que se inicien investigaciones para la solución de problemas vinculados al mejoramiento genético y perfeccionamiento del manejo fitotécnico del cultivo de la papa, durante el proceso de reproducción de los tubérculos sobre bases agroecológicas.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. Izquierdo J. Manual técnico, producción de papa a partir de semilla sexual. Curso audiovisual, Juan Izquierdo ed. 1995; Available from: <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/36191>
2. Estévez A. El cultivo de la papa en Cuba [Internet]. 2007 [cited 31/10/2021]. Available from: <http://www.actaf.co.cu/papa.html>
3. MIDAGRI. Perú se mantiene como primer productor de papa en América Latina [Internet]. [cited 31/10/2021]. Available from: <https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/164182-peru-se-mantiene-como-primer-productor-de-papa-en-america-latina>
4. Martín Martín R, Jeréz Mompié E. Evaluación del rendimiento en papa (*Solanum tuberosum*, L.) a partir del comportamiento de las temperaturas. cultivos tropicales [Internet]. 2015;36(1):93–7. Available from: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362015000100012](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362015000100012)

5. Malagamba JP. Evaluación de Tecnología Agronómica para producción de Papa a partir de Semilla Botánica. 1983; Available from: [https://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/PNABD714.pdf](https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNABD714.pdf)
6. Torres F. Guía de manejo de la semilla botánica (sexual) de papa para la producción de tubérculos-semilla. Programa Nacional de Papa, Ministerio de Agricultura y Ganadería,(MAG) Región I.“Las Segovias”. Estelí, Nicaragua. 1991;
7. Franke G. Nutzpflanzen der Tropen und Subtropen [in 2 Bdn] [Internet]. Hirzel; 1980. Available from: <https://www.zvab.com/buch-suchen/titel/nutzpflanzen-der-tropen-und/autor/franke/>
8. Monteagudo H. Principios de Agricultura. Segunda edición modificada. a abana: Imprenta y Librería La propagandista; 1931. 451 (276-277).
9. Torres F, Olivas A. Producción de semilla sexual bajo las condiciones tropicales de Nicaragua. Revista Latinoamericana de papa [Internet]. 1993;5(1):1–19. Available from: [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=mV-kA4IHY7UC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Producci%C3%B3n+de+semilla+sexual+bajo+las+condiciones+tropicales+de+Nicaragua&ots=ZBmGF96\\_3n&sig=WNeoMGMpHL\\_Tpn3gOnrlbFIDxmo#v=onepage&q=Producci%C3%B3n%20de%20semilla%20sexual%20bajo%20las%20condiciones%20tropicales%20de%20Nicaragua&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=mV-kA4IHY7UC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Producci%C3%B3n+de+semilla+sexual+bajo+las+condiciones+tropicales+de+Nicaragua&ots=ZBmGF96_3n&sig=WNeoMGMpHL_Tpn3gOnrlbFIDxmo#v=onepage&q=Producci%C3%B3n%20de%20semilla%20sexual%20bajo%20las%20condiciones%20tropicales%20de%20Nicaragua&f=false)
10. Hernández A. Revisión bibliográfica La producción de papa por semilla sexual. Cultivos Tropicales [Internet]. 1999;20(4):57–71. Available from: [https://www.researchgate.net/profile/Alejandro-F-Zardon/publication/321732050\\_Revision\\_Bibliografica\\_La\\_produccion\\_de\\_papa\\_por\\_semilla\\_sexual/links/5a2ee7640f7e9bfe81700aa5/Revision-Bibliografica-La-produccion-de-papa-por-semilla-sexual.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Alejandro-F-Zardon/publication/321732050_Revision_Bibliografica_La_produccion_de_papa_por_semilla_sexual/links/5a2ee7640f7e9bfe81700aa5/Revision-Bibliografica-La-produccion-de-papa-por-semilla-sexual.pdf)
11. CIP. Procesamiento y usos de la papa [Internet]. International Potato Center. 2015 [cited 31/10/2021]. Available from: <https://cipotato.org/es/lapapa/procesamiento-y-usos-de-la-papa/>
12. Zardón AF, Díaz JL, Mauri R, J.G C. Manual. Guía práctica para la producción de tubérculos-semilla de papa a partir de semilla sexual. [Internet]. 2015. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/321757460\\_Manual\\_Guia\\_practica\\_para\\_la\\_produccion\\_de\\_tuberculos-semilla\\_de\\_papa\\_a\\_partir\\_de\\_semilla\\_sexual](https://www.researchgate.net/publication/321757460_Manual_Guia_practica_para_la_produccion_de_tuberculos-semilla_de_papa_a_partir_de_semilla_sexual)
13. Papa (CIP) CI de la. Informe Anual Centro Internacional de la Papa 1996 [Internet]. International Potato Center; 1997. 64 p. Available from: <https://books.google.com.co/books?id=6GULRRH0FMIC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>

14. Bofu S, Yu QD, Vander Zaag P. True potato seed in China: past, present and future. *American Potato Journal* [Internet]. 1987;64(6):321–7. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02853524>
15. Golmirzaie AM, Mendoza H. Estrategias de mejoramiento para la producción de semilla sexual de papa. CIP Circular. Centro Internacional de la Papa [Internet]. 1988;6(14). Available from: [http://catalogo.infoagro.hn/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=20314&shelfbrowse\\_itemnumber=20821](http://catalogo.infoagro.hn/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=20314&shelfbrowse_itemnumber=20821)
16. Hooker W. Research for the potato in the year 2000 Lima Peru 22-27 February, 1982,. [Internet]. 1983. Available from: <https://kutuphane.tarimorman.gov.tr/vufind/Record/10262/Description>
17. Centro Internacional de Papa C. Innovative methods for propagating potatoes [Internet]. Lima, Perú; 1984. 333 p. Available from: [https://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/PNABD687.pdf](https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNABD687.pdf)
18. FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [Internet]. 2011. [cited 31/10/2021]. Available from: <https://www.fao.org/news/archive/news-by-date/2011/es/>
19. Almekinders CJM, Chilver AS, Renia HM. Current status of the TPS technology in the world. *Potato Research* [Internet]. 1996;39(2):289–303. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007%252FBF02360921>
20. Rodríguez JM, Rodríguez I, Serrano A, Salomón JL, González E. Resultados y perspectivas de la producción de papa a partir de semilla sexual en la República de Cuba. Evento Científico: Producción de cultivos en condiciones tropicales. Resúmenes.(1997: Quivicán). 1997;13.
21. Wiersema SG. Evaluación de tecnología para la producción de tubérculos-semillas de semilla botánica de papa. Centro Internacional de la Papa; 1983.
22. Graziano JE. Producir papa con semilla sexual. Una alternativa posible. *Presencia* [Internet]. 2011;22(56). Available from: <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-papasemilla.pdf>
23. Almekinders CJM. On flowering and true potato seed production (*Solanum tuberosum*, L.). Wageningen Agricultural University. Wageningen, Netherlands [Internet]. 1995; Available from: <https://edepot.wur.nl/200067>
24. Golmirzaie AM, Malagamba P, Pallais N. Breeding potatoes based on true seed propagation. *Potato genetics*. 1994;499–513.
25. Pallais. N. Producción de semilla botánica de papa (TPS). 1986 [cited 31/10/2021]; Available from: <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/64454>
26. Wiersema SG. Produccion de tuberculos-semillas derivados de la semilla [Internet]. 1985. 13 p. Available from: <http://catalogo.infoagro.hn/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=42190>
27. Wiersema SG. A method of producing seed tubers from true potato seed. *Potato Research* [Internet]. 1986;29(2):225–37. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007%2FBF02357653>

28. Struik PC, Wiersema SG. Seed potato technology [Internet]. Wageningen Academic Publishers; 1999. Available from: [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=TBPTDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA355&dq=Seed+potato+technology&ots=l3TP6VAbDY&sig=eQcj8Mlhan6\\_xghaFZDvwxC\\_DAM#v=onepage&q=Seed%20potato%20technology&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=TBPTDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA355&dq=Seed+potato+technology&ots=l3TP6VAbDY&sig=eQcj8Mlhan6_xghaFZDvwxC_DAM#v=onepage&q=Seed%20potato%20technology&f=false)
29. Hernández A. Manejo agronómico integral de sustratos, métodos de siembra y biofertilización en la producción sostenible de tubérculos-semilla de papa por semilla sexual. Cultivos tropicales [Internet]. 2001;22(2):21–7. Available from: <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193215009003.pdf>
30. Hernández A, Corbera J, Plana R. Producción de tubérculos semilla de papa mediante semilla botánica de polinización libre. Cultivos tropicales [Internet]. 1997;18(2):19–23. Available from: <https://ftp.inca.edu.cu/revista/1997/2/CT18205.pdf>
31. Hernandez AF, Arzuaga J. Manejo agronómico de sustratos, biofertilizantes y métodos de siembra, en la producción sostenible de tuberculillos de papa por semilla sexual. 1998; Available from: <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193215009003.pdf>
32. Salazar LF. Potato viruses and their control [Internet]. International Potato Center; 1996. Available from: [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=1Njq4leyfu8C&oi=fnd&pg=PR9&dq=Potato+viruses+and+their+control&ots=-HY6fTwfde&sig=rz\\_UvS\\_Cv1OO7vAUvo\\_0itK34Uk#v=onepage&q=Potato%20viruses%20and%20their%20control&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=1Njq4leyfu8C&oi=fnd&pg=PR9&dq=Potato+viruses+and+their+control&ots=-HY6fTwfde&sig=rz_UvS_Cv1OO7vAUvo_0itK34Uk#v=onepage&q=Potato%20viruses%20and%20their%20control&f=false)