



**Universidad Nacional de Córdoba**  
**Facultad de Ciencias Agropecuarias**



Trabajo final del Área de Consolidación  
Sistemas Agrícolas de Producción Intensivos

**Factibilidad de producción de semilla básica de papa  
(*Solanum tuberosum* L.) en sistema aeropónico en Córdoba**



**Autores:** Corrado Franco, Marengo Zazu, Gustavo Gabriel

**Tutora:** Dra. Bima Paula



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons  
Atribución - No Comercial - Sin Obra Derivada 4.0 Internacional.

## **RESUMEN**

En la República Argentina la papa es la hortaliza que más se cultiva y consume. Principalmente la variedad Spunta.

Su producción se ve limitada en la obtención de semillas de calidad y libre de enfermedades; que se producen tradicionalmente en canteros o macetas con sustrato. Este es el punto de partida para el resto de los eslabones de la cadena productiva de papa .A esto cabe sumar las complicaciones en el manejo de las enfermedades del cultivo localizadas en los sustratos utilizados, agravadas por la prohibición y limitación de insumos químicos.

Nuevas tecnologías y técnicas han sido probadas alrededor del mundo. Una de ellas es la de producir plantas sin suelo, cubriendo los requisitos nutricionales de las plantas mediante la pulverización de una solución nutritiva a las raíces. Esto se conoce como AEROPONIA.

En el siguiente trabajo se planteó analizar un sistema productivo aeropónico de papa semilla con respecto a un sistema de producción tradicional. Se compararon dos variedades (Spunta y Atlantic), analizando crecimiento vegetativo, días a floración, comienzo de tuberización, número de tubérculos por planta, número de tubérculos por metro cuadrado, calidad pos cosecha y brotación de los tubérculos cosechados. Algunos fueron sometidos a análisis estadísticos.

También se compararon, mediante un análisis económico, ambos métodos de producción.

En los resultados obtenidos se pudo comprobar que la variedad Atlantic tuvo un rendimiento y comportamiento superior con respecto a Spunta.

Ambas variedades muestran un mejor margen bruto que la producción en macetas. Esto se debe por un lado al menor costo directo debido principalmente a la eliminación de sustratos, desinfección y la menor utilización de plantas por metro cuadrado. Por otro lado, la mejora en el margen se debe a la obtención de tubérculos de mayor tamaño que permiten un precio más elevado por unidad.

Palabras claves: Papa, Semilla, Tubérculo, Aeroponía, Sustratos, Spunta, Atlantic, Rendimiento.

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>4</b>
Producción de semillas en jaula antiafidos.....	8
Sustratos .....	9
Sustratos orgánicos más usados .....	9
Sustratos inorgánicos más usados .....	10
Principales plagas y enfermedades presentes en los sustratos .....	11
Desinfección de sustratos.....	13
Producción en zonas aisladas .....	14
Diagnóstico del problema .....	15
Análisis FODA para la producción tradicional de papa semilla.....	15
Interrelación de la matriz FODA.....	16
Determinación de los problemas más importantes.....	19
Análisis G.U.T (gravedad, urgencia y tendencia) .....	19
<b>HIPÓTESIS .....</b>	<b>21</b>
Objetivos Generales .....	21
Objetivo Específico .....	21
<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>22</b>
<b>RESULTADOS .....</b>	<b>35</b>
Parámetros de crecimiento y desarrollo, rendimiento y poscosecha .....	35
<b>ANALISIS ECONOMICO .....</b>	<b>44</b>
Comparación con producción en macetas .....	45
<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>47</b>
<b>CONCLUSIÓN .....</b>	<b>51</b>

## INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum L.*) es la principal hortaliza consumida a nivel mundial y, según estadísticas de la FAO (2008), es el cuarto alimento más consumido del mundo después del trigo, el arroz y el maíz. Se producen alrededor de 385 millones de toneladas por año, en una superficie de 19,2 millones de hectáreas, lo que arroja un promedio de 20 toneladas/hectárea (FAO, 2008). El 60% de la producción mundial es realizada por 6 países, China (concentrando más del 24%), India, Rusia, Ucrania, EEUU y Alemania (Rothman S. 2007).

Argentina produce 1,86 millones de toneladas/año, siendo el tercer país productor de América del Sur, con el 0,5% del total mundial; con rendimientos promedio de 35 toneladas/ha (Rothman S. 2007). La principal zona productora en cuanto a área sembrada, rendimientos y producción total es la provincia de Buenos Aires, la cual concentra alrededor del 50% de la producción nacional. La provincia de Córdoba se encuentra en segundo lugar, con el 28%, y luego se encuentra Tucumán, Mendoza y Santa fe (Garzón, *et al.*, 2016).

Cabe destacar que en Argentina la producción se clasifica según la llegada al mercado en producción temprana, semitemprana, semitardía y tardía.

Huarte y Capezio (2013) afirman que las principales diferencias entre cada producción son las siguientes:

- I. Producción Temprana (Tucumán, Salta; Jujuy, Corrientes, Misiones), el riesgo de heladas es grande y la papa es muy sensible a ellas, las altas temperaturas a cosecha hacen que este tipo de producción se deba vender en forma inmediata y no se pueda conservar muchos días en el campo. Se suele cosechar papa inmadura y puede llegar golpeada al mercado.
- II. Producción Semitemprana (N de Bs Aires, Córdoba, Mendoza, Santa Fe, Tucumán), se realiza en los mismos lotes que la tardía, generalmente. En parte se conserva en cámaras frigoríficas ya que no puede mantenerse en el campo por las altas temperaturas. Produce, junto con la tardía, la denominada “papa blanca”,

denominación derivada del color que la piel de los tubérculos toma al formarse en suelos arenosos. En los alrededores de Rosario se establecieron los primeros cultivos comerciales de Argentina a fines del siglo XIX.

- III. III. Producción Semitardía (S de Buenos Aires, Mendoza, Río Negro, Chubut), es la característica del SE de la Pcia. de Buenos Aires proveniente de la zona mixta papera constituida por los Partidos de Gral Alvarado, Gral. Pueyrredón, Balcarce, Tandil, Necochea y Lobería, comercialmente denominada “Sudeste”. Es la producción de mayor rendimiento del país, pudiéndose obtener más de 50 t/ha. Produce la denominada “papa negra” por la coloración que la piel toma en suelos con alto contenido de materia orgánica; la excepción es Mendoza que produce “papa blanca”. El Sudeste es la principal zona de producción de papa para industria, que también se produce en Río Negro (Choele Choel). Los altos rendimientos obtenidos en el Sudeste han provocado una continuada disminución de la superficie y de número de productores en esta región.
- IV. IV. Producción Tardía (Córdoba, Mendoza, Santa Fe) su producción compite con la del SE de la Pcia. de Buenos Aires. Junto con la papa semitemprana abastecen el mercado casi todo el año y obtienen los mejores precios por la excelente presentación comercial. Todo ello ha contribuido a un crecimiento sostenido de la superficie papera, principalmente en Traslasierra (Villa Dolores y parte de San Luis) y en el Cinturón Verde de Córdoba.

El tubérculo, que es el órgano de consumo, presenta una importante fuente de carbohidratos (almidón), proteínas de alta calidad, vitamina C y minerales. En nuestro país, al igual que en el resto del mundo, la papa es uno de los alimentos más consumidos, con valores cercanos a los 60 kg/per cápita/año, siendo solo superado por el trigo, carne y leche. (Huarte y Capezio, 2013).

Existen más de cinco mil variedades de papa, pero en Argentina, las que más se destacan son la variedad Spunta e Innovator, siendo la primera la que domina el mercado fresco y la segunda la más utilizada para industria de papas fritas en bastones. Además de estas se

encuentran otras en menor cantidad, como Atlantic, Kennebec, Frital INTA, Asterix, Chieftain, etc. (Huarte y Capezio, 2013).

Para la maximización de los rendimientos y la obtención de productos de calidad, se debe tomar correctas decisiones teniendo presente cómo las prácticas de manejo afectan el desarrollo de las plantas. Para lograr esto es imprescindible conocer en detalle la fenología y las necesidades del cultivo a lo largo del ciclo. Es importante saber cómo influye el riego, la fertilización, la fecha de siembra, el material inicial, etc. (Huarte, y Capezio, 2013).

La utilización de semillas adecuadas es uno de los factores que más influyen en el rendimiento; Velazquez y Montesdeoca (2006), afirman que una semilla de buena calidad aumenta la producción, productividad y optimiza el uso de insumos debido a una mayor uniformidad de emergencia y vigor de plantas. La manera tradicional para la obtención de semillas es mediante la multiplicación de material comprobadamente saneado proveniente de cultivos *in vitro*, en jaulas antiáfidos con sustrato esterilizado, donde se obtienen minitubérculos que luego se llevan a zonas aisladas para aumentar la tasa de multiplicación; de esta manera el proceso de producción de papa semilla tiene una duración de, alrededor de 4 años (fig. 1). Durante mucho tiempo, la forma más efectiva con la que se esterilizó el suelo o sustrato, donde se lleva a cabo la producción de minitubérculos, fue mediante el uso de Bromuro de Metilo, un fumigante altamente tóxico que elimina artrópodos, nematodos, patógenos y malezas;. habiéndose reconocido dentro de las sustancias más importantes que causan daño a la capa estratosférica del ozono, inevitablemente se produjo su prohibición. Se dieron plazos límite para su uso: para países en desarrollo hasta el 2015 y para países desarrollados hasta el 2005 (Gullino, *et al.* 2003). Esto genera serias dificultades en la producción de semillas, obteniéndose productos de inferior calidad y afectando directamente los rendimientos. Como consecuencia, la desaparición del bromuro de metilo ha traído consecuencias importantes en las economías de productores de hortalizas de países desarrollados (Maldonado, *et. al.* 2008).

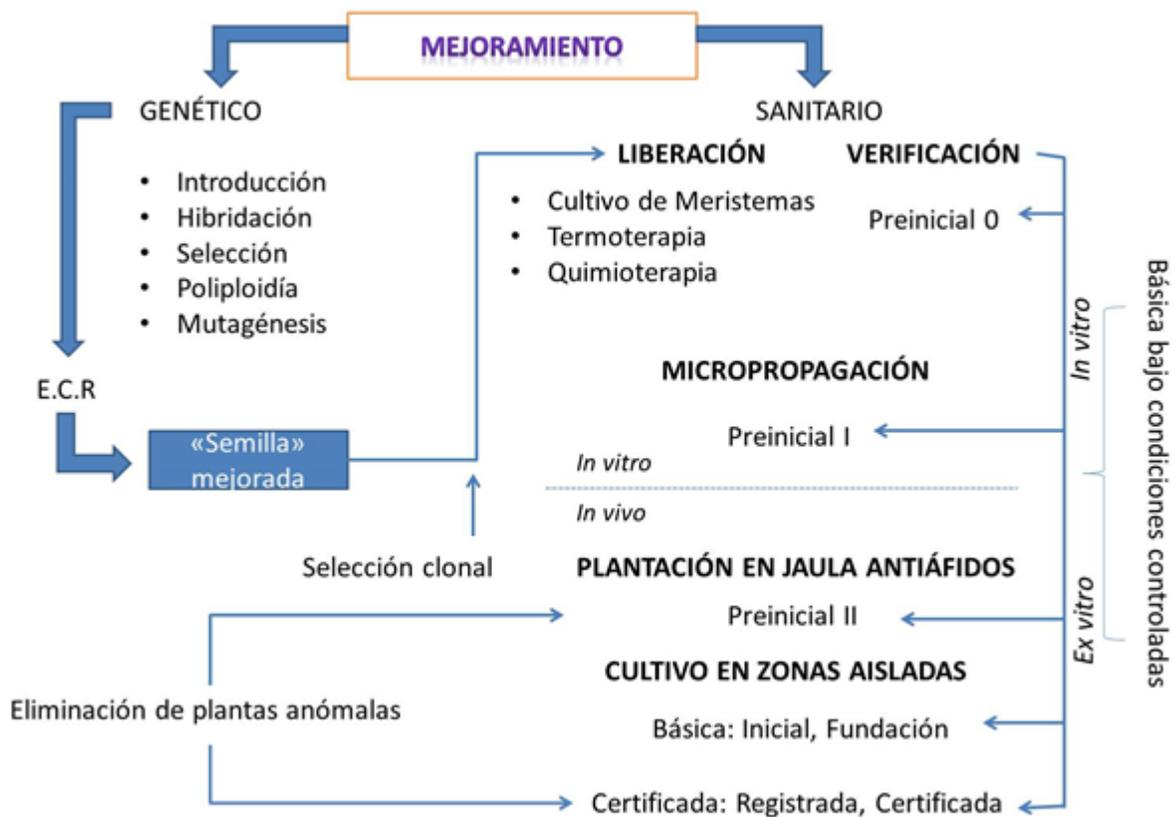


Figura 1: Esquema para la producción de semilla en especies de propagación agámica (Fuente: Sistemas de Producción de Cultivos Intensivos, Facultad de Ciencias Agropecuarias, UNC)

## **Producción de semillas en jaula antiáfidos**

La producción de semillas en jaulas antiáfidos se realiza, por lo general en las mismas zonas donde se hace la papa para consumo, al alcance del productor, pues requiere de cuidados particulares, ya que los minitubérculos que se cosecharán deben estar totalmente libres de enfermedades y plagas.

Un minitubérculo, es un tubérculo semilla obtenido bajo condiciones controladas *ex vitro*. (SAGPyA , 2002).

La metodología tradicional para su obtención radica en:

- Las instalaciones de los invernáculos deben estar construidas de tal manera que permitan la exclusión de vectores y plagas, y asegurar la correcta identificación de sus producciones. La entrada al recinto deberá hacerse por un habitáculo de doble entrada y deben estar protegidos por malla antiáfidos.
- Los procesos de producción se efectuarán a partir de microplantas, esquejes o microtubérculos producidos in vitro, de sanidad certificada y, se cultivarán en sustratos inertes o preventivamente desinfectados.
- Quien ingrese deberá hacerlo vistiendo ropa protectora adecuada y previendo la desinfección del calzado.
- Los cultivos se efectuarán sobre mesadas, asegurando que las plantas desarrolladas no toquen en ninguna circunstancia las paredes o malla del invernáculo, ni el suelo. La separación entre plantas de diferentes lotes se efectuará con una barrera física que impida la mezcla de estolones y tubérculos. (SAGPyA , 2002).

## **Sustratos**

Según Calderón (2005), el término sustrato, que se aplica en agricultura, se refiere a todo material, natural o sintético, mineral u orgánico, de forma pura o mezclado, cuya función principal es servir como medio de crecimiento y desarrollo a las plantas, permitiendo su anclaje y soporte a través del sistema radical, favoreciendo el suministro de agua, nutrientes y oxígeno.

Los sustratos pueden clasificarse en orgánicos e inorgánicos (Hartman y Kester, 1987).

### **Sustratos orgánicos más usados**

a. Turba; material de origen vegetal de propiedades variables según origen, provienen de la descomposición anaeróbica de musgos principalmente del género *sphagnum* y otras plantas superiores. Sustrato más usado en la actualidad, crecen en humedales y demoran cientos de años en formarse. Hay turbas rubias y negras. Las turbas "negras", por estar más descompuestas han perdido las propiedades de las fibras; no tienen fibra, por lo que presentan menor volumen de aire, sin embargo tienen mejor capacidad de retención de agua. Son las más usadas. Las turbas rubias presentan mayor fibrosidad, volumen de aire y materia orgánica además de pH más ácidos.

b. Compost; sustrato orgánico producido por la descomposición principalmente bacteriana (levaduras e insectos también) de residuos vegetales o animales. De aspecto terroso, ausente de olores y libre de microorganismos patógenos y semillas y que puede emplearse en múltiples aplicaciones como abono. Enriquece el suelo, mejorando sus propiedades físicas, químicas y biológicas por el aporte de materia orgánica

c. Vermicompost; sustrato vegetal semicompostado que atraviesa el tracto digestivo de la lombriz y queda con características particularmente atractivas como una buena granulometría, alta Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y una flora bacteriana que detiene el desarrollo de hongos y bacterias fitopatógenos

d. Fibra de coco; sustrato que se obtiene de la cubierta de los frutos de las palmas, presenta una excelente aireación debido a su alta porosidad, alta retención de agua y nutrientes, es completamente materia orgánica con gran estabilidad. Debe ser bien lavada ya que presenta problema de sales

### Sustratos inorgánicos más usados

a. Perlita; roca silíceo de origen volcánico tratada con altas temperaturas. Se hidrata y se expande. Formada por partículas blancas con dimensiones entre 1,5 y 6 mm, buena capacidad de retención de agua, elevada porosidad, dura 6 años aprox., es liviana, pH neutro, de los materiales más usados en mezcla, por su económico valor, y características que le hacen la mejor compañía de las mezclas de sustratos.

b. Vermiculita; mineral perteneciente a las micas, compuesto por silicatos de aluminio, magnesio y hierro, retiene grandes volúmenes de agua, baja Densidad Aparente (DA), liviana y pH neutro, su brillo aumenta la reflexión de luz.

c. Lana de roca; producto mineral obtenido a partir de la mezcla homogénea de rocas de origen volcánico tratadas a 1600 °C, las que luego se expanden en forma de fibras de 0,005 mm de grosor, luego se estabiliza y se comprime. Sustrato con excelente aireación y retención de agua, completamente inerte.

d. Arena; material de naturaleza silíceo originada en cantera o ríos, aporta peso al sustrato y mejora la estructura, se debe evitar la presencia de sales, su pH es variable, se considera químicamente inerte sin CIC. Es uno de los sustratos más económicos y usados del mundo. Mejora aireación y drenaje.

Los sustratos más utilizados en la producción de papa semilla en jaulas antiáfidos son el mantillo de monte proveniente de las Sierras de Córdoba solo o, con el agregado de cáscara de maní, para darle aereación; o sustratos compuestos por turba, vermiculita y perlita. (productores del cinturón verde, comunicación personal).

## Principales plagas y enfermedades presentes en los sustratos

El suelo contiene una gran diversidad de microorganismos, de los cuales una parte importante son benéficos; sin embargo existe un grupo que pueden afectar el cultivo si no es manejado de manera correcta, los mas frecuentes son *Rizoctonia solani*, *Fusarium spp*, *Pythium sp* *Phytophthora infestans* y *Nematodos*, que afectan directamente la supervivencia de las microplantas y el rendimiento del cultivo, mientras que otros patógenos como *Spongospora subterranea* y *Streptomyces scabiei* afectan la calidad del tubérculo con la consecuente pérdida de valor comercial.

### Enfermedades fúngicas y bacterianas mas frecuentes en el cultivo de papa

- *Phytophthora infestans* (Henfling W.J. 1987. *El Tizón Tardío de la Papa*): conocido como Tizón Tardío, es un hongo que ataca hojas, tallos, tubérculos, causando manchas color verde oscuro que a medida que avanza se van necrosando.

Es una de las enfermedades más importantes. Combinadas con alta presencia de inóculo y condiciones ambientales favorables, el cultivo puede ser destruido en menos 15 días.

Se recomienda el manejo integrado, utilizando variedades resistentes, labores culturales y protección con fungicidas.

- *Rizoctonia solani* (Anguiz, y Martin, 1990): Conocida como Rizoctoniosis, es una enfermedad que afecta tallos, estolones y tubérculos. La principal sintomatología son lesiones necróticas en forma de canchales en los tallos y estolones, y los tubérculos presentan esclerotos que disminuyen su calidad.
- *Verticillium spp* (Rich., 1981): presenta como principales síntomas amarillamiento, marchitez, muerte temprana. Es un hongo que adquiere gran importancia cuando interacciona con demás hongos, virus o bacterias.

- *Streptomyces scabiei* (Torres, H. 2002): conocida como Sarna Común, es una bacteria que afecta solo al tubérculo, observándose al inicio rajaduras de forma estrellada, y a medida que va creciendo el tubérculo las rajaduras aumentan adquiriendo diferentes formas.
- *Alternaria solani* (Torres, H. 2002): conocido como Tizón temprano de la papa, es un hongo que ataca tanto hojas como los tubérculos, causando manchas concéntricas de color oscuro, generando necrosis y defoliación en caso severos, y disminuyendo la producción y calidad de los tubérculos.
- *Fusarium spp* (Torres, H. 2002): causante de la pudrición seca o fusariosis, provoca como síntoma más común la pudrición de tubérculos en campo y almacenaje, causando lesiones oscuras y levemente hundidas, permitiendo el ingreso de otros patógenos como *Pectobacterium spp*.

Nematodos (Jatala, P. 1986):.

- *Meloidogyne sp.*
- *Nacobbus aberrans*
- *Globodera rostochiensis*

Microorganismos que se alimentan y desarrollan en las raíces y tubérculos, causando mermas de hasta el 30 %. Los principales síntomas son grupos de plantas de menor tamaño, amarillentas, y en las raíces se observan pequeñas bolitas brillantes, pueden además, parasitar los tubérculos, generando agallas de volumen variado, que su valor comercial. Además, los tubérculos, se constituyen en órganos de diseminación de estos microorganismos.

## Desinfección de sustratos

El sustrato utilizado, para la producción tradicional de minitubérculos, debe ser expuesto a una correcta desinfección para evitar la aparición de patógenos en las semillas, y la aparición de malezas que puedan transmitir enfermedades o que generen competencia al cultivo.

Según Sandoval Villa (2010), hay cuatro formas de desinfección del sustrato:

- Por solarización, consiste en someter al sustrato a temperatura mayores o similares a 55°C durante siete horas por al menos treinta días. Esta técnica, se conoce como solarización. En nuestro país, se recomienda hacerla en el periodo comprendido entre diciembre y febrero. Por lo que no es compatible con el ciclo de la semilla de papa, en muchas regiones del país.
- Por vapor, el sustrato es sometido a una temperatura de 100°C durante treinta minutos.
- Biológica, a través de especies como *Trichoderma*. Que no realizan una esterilización del suelo, sino que, por competencia contra los organismos patógenos, impide su desarrollo. No es eficaz contra nematodos.
- Química, a través de productos como Metam Sodio y Dazomet. Actualmente, se está reduciendo el catálogo de productos químicos para este fin e, incluso, se está restringiendo su venta.

## **Producción en zonas aisladas**

Para la obtención de papa semilla fiscalizada, es necesario realizar las multiplicaciones en zonas aisladas. Las características principales que deben presentar los lotes elegidos son: estar alejadas de cultivos de papa consumo, baja incidencia de insectos transmisores de virosis, realizar, al menos 4 años de rotación con pasturas. Generalmente se buscan lugares de altura o de inviernos fríos, en los cuales son menos factibles los ataques de pulgones, con el fin de evitar nuevas contaminaciones sobre el material sano que se multiplica, pues los mayores enemigos del vuelo de los áfidos son el frío, la humedad y el viento. (Maroto, 2002).

Las zonas de producción de semilla en Argentina están ubicadas en: Tucumán, Catamarca, Mendoza, Córdoba, Buenos Aires y Río Negro. (Castagnino y Nungesser, 2009)

Generalmente se realizan dos multiplicaciones para mantener la sanidad y el vigor de la semilla lo que implica contar con suficiente superficie para realizar rotaciones de al menos 4 años.

## **Diagnóstico del problema**

### **Análisis FODA para la producción tradicional de papa semilla**

#### **FORTALEZAS (F):**

1. Tecnología sencilla para su adopción y mantenimiento.
2. Baja inversión inicial y de mantenimiento de infraestructura.
3. Permite altas densidades de plantas.
4. Regular rentabilidad.
5. Amplias fuentes de bibliografía
6. Disponibilidad de asesores capacitados en la producción

#### **DEBILIDADES (D):**

1. Susceptible a acumulación de organismos patógenos del suelo.
2. Grandes costos de mantenimiento de desinfección de sustratos y herramientas, contra organismos como los nematodos y la bacteria causante de la sarna de la papa.
3. Ausencia de esterilizantes eficaces del suelo.
4. Uso de gran cantidades de plantines in vitro.
5. Elevado costo del plantín
6. Corta duración del ciclo de la planta.
7. Baja producción por planta.
8. Tamaño variable de mini tubérculos.
9. Producto de precio variable.
10. Gran cantidad de residuos.
11. Necesidad de insumos químicos como fertilizantes y productos de protección vegetal.

12. Dependencia de la calidad del agua y del sustrato.
13. Mayor número de multiplicaciones en zonas aisladas.

#### **OPORTUNIDADES (O):**

1. Eslabón fundamental en la cadena productiva de papa para consumo.
2. Necesidad en aumento del producto final.
3. Apertura al mercado internacional.
4. Producto de alta demanda.
5. Aumento de las exigencias del mercado en la calidad del producto final.

#### **AMENAZAS (A):**

1. Aumento en el precio de insumos para la protección y nutrición vegetal.
2. Aumento en el precio y escases de sustratos de calidad.
3. Aumento en el precio de plantines in vitro.
4. Posible disminución de los precios a nivel nacional e internacional.
5. Posible prohibición de esterilizantes de uso actual.
6. Escases de zonas aisladas cercanas a los puntos de producción.
7. Incrementos en los costos de producción.

### **Interrelación de la matriz FODA**

A partir del FODA se determinan problemas y programas de estrategias para la resolución de los mismos.

#### Relación Fortalezas/Amenazas

F2/A5=La baja inversión inicial sumados a bajos costos de mantenimiento disminuye el riesgo ante una posible baja en los precios.

F2/A1= La baja inversión inicial sumados a bajos costos de mantenimiento permitiría tolerar un posible aumento en los precios de plantines, nutrición o protección vegetal.

F5/A5= Amplias fuentes de bibliografía sobre la producción de papa semilla, podrían dar alternativas ante una posible prohibición de esterilizantes actuales.

### Relación Debilidades/Amenazas

D1/A4= La susceptibilidad a la acumulación de organismos patógenos puede afectar la calidad e ir en contra de las exigencias del mercado.

D1/A7= La susceptibilidad a la acumulación de organismos patógenos del suelo puede incrementar los costos de producción por mayor uso de agroquímicos.

D2/A7= Grandes costos de mantenimiento de desinfección de sustratos y herramientas, contra organismos como los nematodos y la bacteria causante de la sarna de la papa repercutirán notablemente incrementando los costos de producción.

D3/A4= La ausencia de esterilizantes eficaces del suelo puede afectar la calidad del producto e ir en contra de las exigencias de mercado.

D2/D5= La ausencia de esterilizantes eficaces del suelo puede verse afectado por posibles nuevas prohibiciones de otros esterilizantes.

D4/A3= El uso de grandes cantidades de plantines *in vitro* sumado a un posible aumento de precio de estos, generaría un crecimiento en los costos de producción.

D7/A4= Una disminución de precios de los mini tubérculos con una baja producción por planta afectaría la rentabilidad de manera notable.

D10/A7= La generación de sustrato contaminado, implica una gestión correcta de estos, generando gastos que acrecentaran los costos productivos.

D12/A5= La dependencia de la calidad de agua y de sustratos aumentará de forma notable ante una posible prohibición de esterilizantes de suelo actuales.

D13/A6= Mayor número de multiplicaciones en zonas aisladas se ven afectadas por a escases de estas, cercanas a los centros de producción.

D13/A7= Mayor número de multiplicaciones en zonas aisladas inciden netamente aumentando los costos de producción.

### Relación Fortalezas/Oportunidades

F1/O1= La producción de papa semilla tradicional es una tecnología de fácil adopción y de fácil mantenimiento, fundamental en la producción de un producto de alta demanda como la papa.

F1/O5= La producción de papa semilla tradicional es una tecnología de fácil adopción y de fácil mantenimiento y además con grandes contenidos bibliográficos disponibles en nuestro país.

F1/O6= La producción de papa semilla tradicional se beneficia con los asesores capacitados en esta tecnología disponibles en nuestro país.

F1/O2= La producción de papa semilla tradicional tiene la posibilidad de crecer ya que hay una creciente necesidad del producto final.

F4/O3= La rentabilidad puede mejorar ante la apertura del mercado internacional.

### Relación Debilidades/Oportunidades

D1/O1= La susceptibilidad a la acumulación de patógenos en el suelo, puede afectar a otros eslabones de la cadena productiva.

D1/O4= La susceptibilidad a la acumulación de patógenos en el suelo, puede afectar el rendimiento final, acrecentando aún más la necesidad del producto final.

D1/O5= La susceptibilidad a la acumulación de patógenos en el suelo, puede afectar el producto y comprometer la comercialización internacional.

D6/O4= La corta duración del ciclo de las plantas limita la productividad, comprometiendo la oferta para la alta.

D7/O4= La baja producción por planta puede llegar a no cubrir la creciente demanda.

D8/O5= La variabilidad en el tamaño de mini tubérculos es un parámetro de calidad que puede no cumplir con estándares de exportación a mercados internacionales.

## **Determinación de los problemas más importantes**

Después del análisis de las interrelaciones FODA surgen numerosos problemas, de los cuales los más destacados son:

### 1. Fragilidad del sistema

El sistema es muy susceptible a enfermedades y plagas, que podrían afectar seriamente la calidad y el rendimiento si no se toman los recaudos necesarios.

### 2. Ausencia de sustratos de calidad.

El sistema tradicional de producción de papa semilla básica, utiliza sustratos que no siempre puede ser sometidos a esterilización, por su costo y por las restricciones para la comercialización de sustancias esterilizantes. Esto genera acumulación de organismos de difícil control como nematodos y la bacteria causante de la sarna de la papa, produciendo semillas de mala calidad que afectan de manera muy significativa a toda la producción.

### 3. Demanda insatisfecha

Ante una creciente población, el consumo de papa tenderá a crecer, por lo tanto se necesitarán mayores rendimientos y superficies sembradas. Resumiendo, será indispensable partir de material sano en cantidad y calidad, para cubrir la creciente demanda.

## **Análisis G.U.T (gravedad, urgencia y tendencia)**

Esta herramienta permite determinar la importancia de los problemas identificados en el establecimiento a través de la gravedad (del problema), la urgencia (su resolución) y la tendencia (comportamiento en el tiempo).

Gravedad: Se considera la intensidad o el impacto que puede causar el problema si no lo resolvemos.

Urgencia: Se analiza por la presión del tiempo que existe para resolver determinada situación.

Tendencia: Es la interpretación de lo que pasa en el tiempo si el problema no se resuelve.

Los problemas destacados son:

- 1- Fragilidad del sistema,
- 2- Ausencia de sustratos de calidad,
- 3- Demanda insatisfecha.

En la tabla 1 se desarrollará el análisis realizando puntuaciones del 1 al 10, tomando como 1 a la mejor situación y 10 como lo más complejo.

Tabla 1. Procedimiento para la identificación del problema

Se diagnostica que el problema número 2, ‘Ausencia de sustratos de calidad’ es el de mayor importancia, para el cual una de las soluciones posibles es la producción de semilla en sistemas aeropónicos (Otazu et al, 2008). Sistema en que, las raíces de las plantas, se

Número Del problema	Grave	Urgente	Tendencia	Total
1	7	7	9	441
2	8	8	10	<b>640</b>
3	6	7	9	378

desarrollan en un contenedor cerrado, totalmente oscuro y vacío por dentro, micro ambiente con alta humedad, en donde se producen raíces, estolones y tuberculillos suspendidos en el aire y, la fertilización es suministrada a través de un sistema de riego por nebulización. (Chuquillanqui, 2015).

Si bien, estos sistemas, se están desarrollando en diferentes países como en, China, Corea del Norte, Kenia, Malawi, Perú, Chile, Ecuador, Colombia y Bolivia (Chuquillanqui, 2015), es necesario ajustar la producción para cada variedad y cada zona, en particular.

# HIPÓTESIS

El sistema aeropónico permite obtener semillas de mayor calidad y cantidad, a un precio competitivo en relación a las producciones tradicionales realizadas en la provincia de Córdoba.

## Objetivos Generales

- Producir minitubérculos de las variedades de papa Spunta y Atlantic en un sistema aeropónico, para contribuir a generar un sistema económico, ambiental y socialmente factible en el Cinturón Verde de Córdoba.
- Detectar puntos críticos a tener en cuenta para la producción de minitubérculos de las var de papa Spunta y Atlantic en un sistema aeropónico, y contribuir a generar un sistema económico, ambiental y socialmente factible en el Cinturón Verde de Córdoba.

## Objetivo Específico

- Determinar parámetros de crecimiento y desarrollo de las plantas y tubérculos
- Determinar rendimientos de tubérculos por m<sup>2</sup>. Evaluar la calidad y la evolución en postcosecha.
- Analizar el margen bruto de la actividad.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se partió de material vegetal producido *in vitro*, de dos variedades de papa, Spunta y Atlantic producidas en el Laboratorio de Biotecnología (FCA-UNC).

La variedad de papa más utilizada en Argentina es Spunta, de origen holandés. Sus tubérculos son alargados, de carne amarilla clara, piel lisa y pueden alcanzar gran tamaño. Posee muy alto rendimiento y se adapta a regiones con doble cosecha. La materia seca de sus tubérculos es baja, por lo tanto no es recomendable para industria. Domina el mercado de papa para consumo, siendo la variedad más comercializada (95% del total) en el Mercado Central de Buenos Aires (Garzón y Young, 2016).

Atlantic, de EE.UU, y varios clones de la empresa *Frito Lay*; son las más utilizadas para la papa frita en rodajas. Estas variedades son redondas y de tamaño de tubérculo mediano (Rothman, 2007).

Las microplantas se colocaron en bandejas con sustrato compuesto por un 50% de vermiculita y 50% de perlita, completamente esterilizado en autoclave a 1 atm de presión y 121°C por 30 min; allí crecieron durante 14 días, con riego manual aplicando solución nutritiva inicial a una concentración del 50%.



Figura 2: Esterilización en autoclave del sustrato para el enraizamiento



Figura 3: Material vegetal in vitro.



Figura 4: Transplante de las microplantas en las bandejas de enraizamiento.

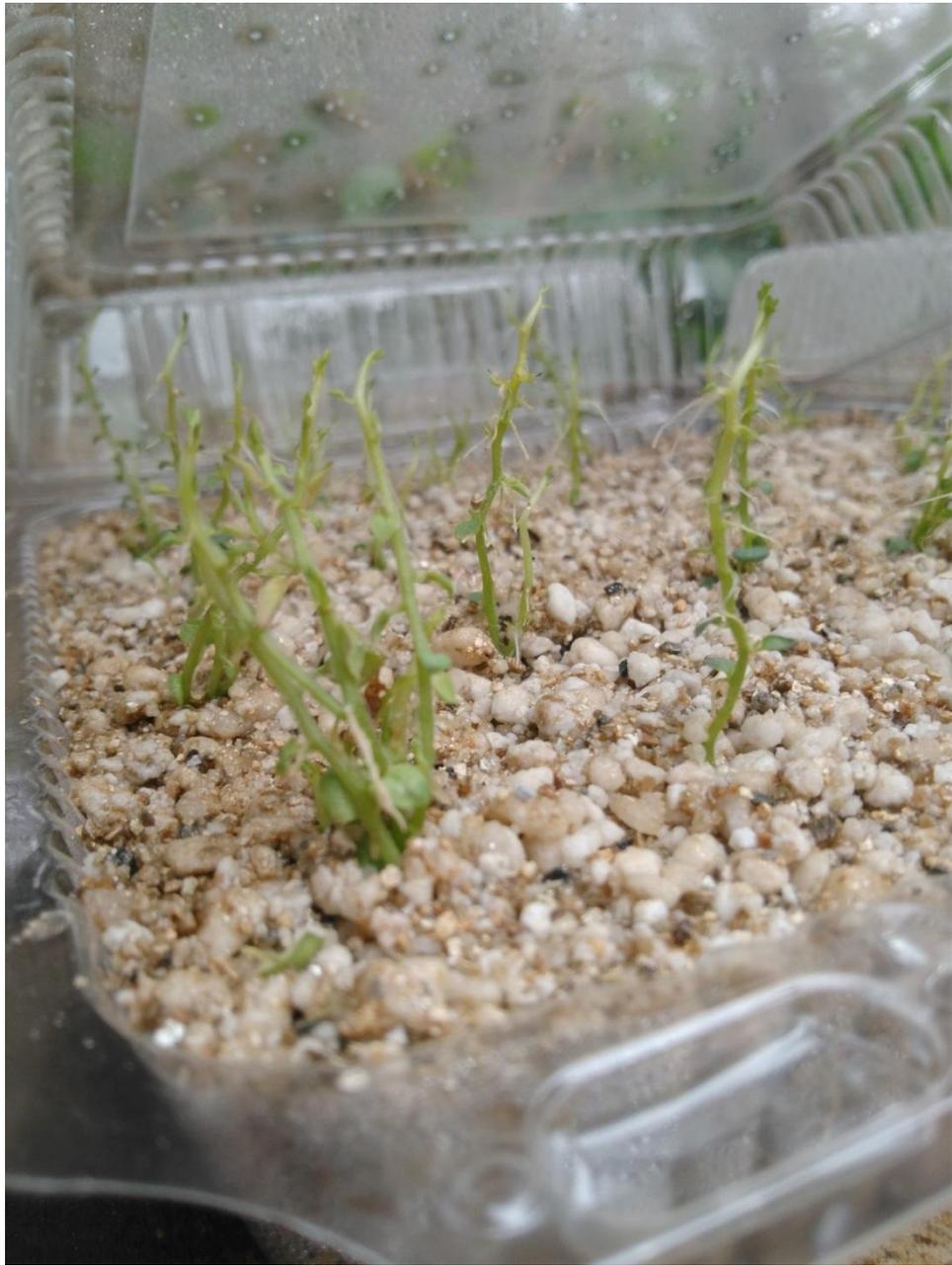


Figura 5: Plantas en fase de enraizamiento

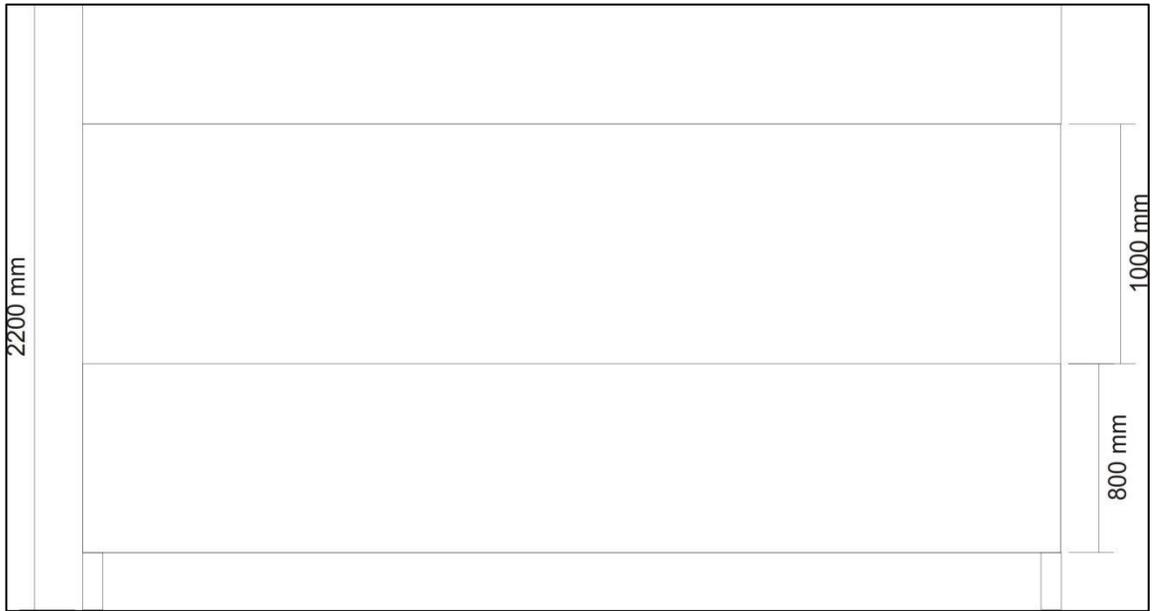


Figura 6: Vista frontal de la estructura

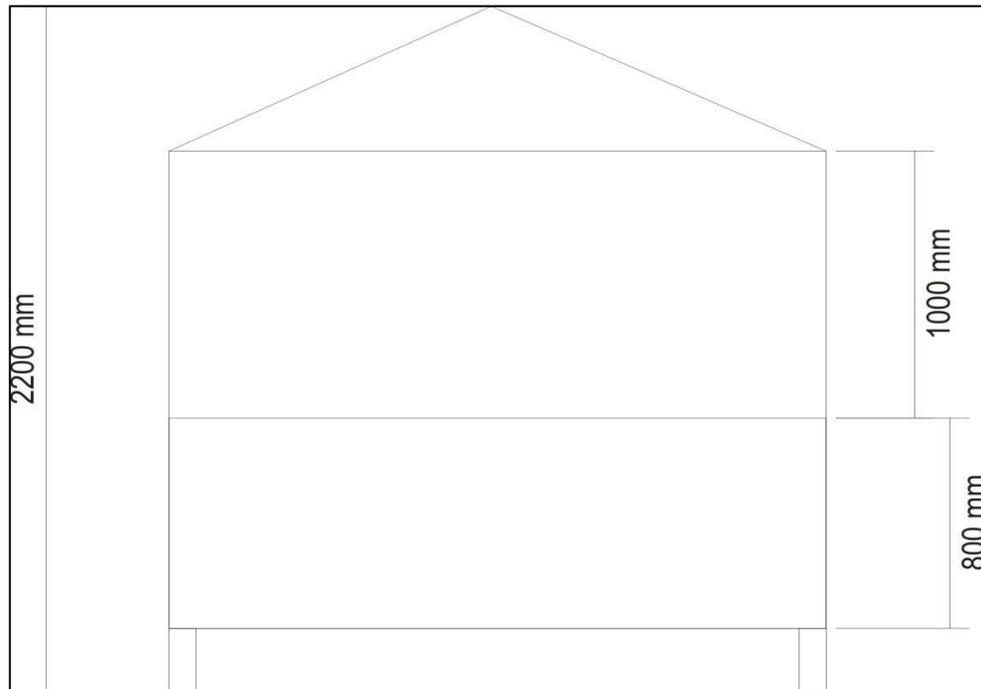


Figura 7: Vista lateral izquierda y derecha de la estructura.



Figura 8: Estructura en la jaula antiáfidos.

Finalizada la rusticación, se llevó las plantas a jaula antiáfidos donde se realizó el trasplante el 01/10/2018, en un sistema aeropónico de 1m x 2 m, recubierto con malla antiáfidos. La densidad de plantas fue de 37 plantas/m<sup>2</sup>, en un marco de plantación de 17 x 17 cm.



Figura 9: Momento de inicio del trasplante definitivo

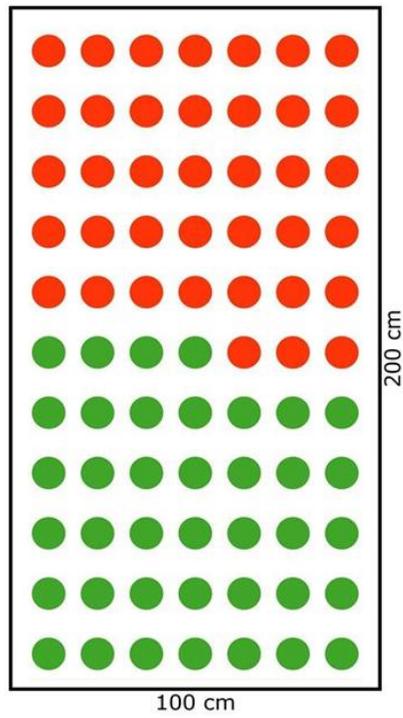


Figura 10: Diagrama de plantación del ensayo. Color rojo: Atlantic. Color verde: Spunta

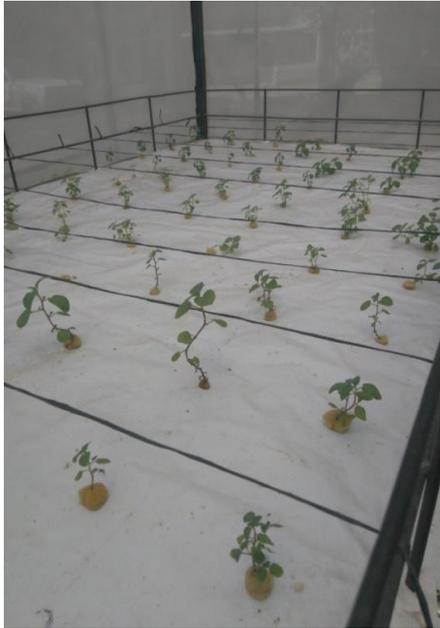


Figura 11: Plantas trasplantadas

Se seleccionaron 5 plantas al azar de cada variedad, evitando las plantas de los bordes (fig. 13), de las cuales se tomaron mediciones de altura, cada 20 días desde el trasplante. Se realizó un ANAVA y test de Fisher para definir diferencias significativas entre variedades. Además, se registró fecha de floración y de inicio de tuberización.

Se realizaron 3 cosechas al total de las plantas a lo largo del ciclo, utilizando un criterio visual buscando cosechar tubérculos de entre 12 y 15 gramos, para luego registrar la cantidad de cada variedad y el tamaño de los mismos. El criterio elegido fue por peso, siguiendo la siguiente escala:

- Menor a 6 gramos: MUY PEQUEÑOS
- Entre 6 a 11 gramos: PEQUEÑOS
- Entre 11 a 23 gramos: MEDIANOS
- Más de 23 gramos: GRANDES

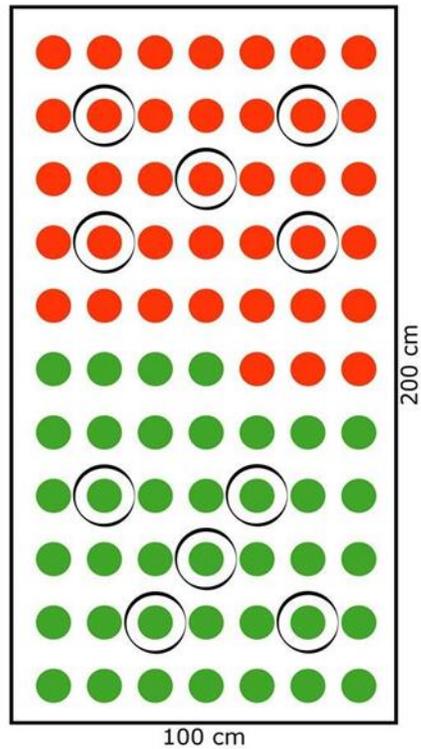


Figura 12: Esquema de plantas muestreadas

Al final de cada cosecha, fueron identificados y almacenados a 4 grados hasta el 1 de marzo de 2018, momento en el cual fueron expuestos a temperatura ambiente por una semana para, después, analizar el estado y tipo de brotación.

El sistema de riego se conformó con una bomba 12V, abastecida energéticamente por una batería 12V y de 60 amperios. Un tanque de 200 litros se colocó bajo tierra en la parte externa de la jaula.

El tiempo de riego se controló mediante una placa cicladora, programada con una frecuencia de 1 minuto de riego y 5 minutos de reposo, durante todo el ensayo. Cada diez días se realizó el vaciado completo del tanque, limpieza, y llenado nuevamente.

Se prepararon 2 soluciones madres para todo el ciclo. La Solución Inicial fue utilizada durante los primeros 30 días, con un porcentaje mayor de nitrógeno para favorecer el

desarrollo aéreo. El contenido de esta solución nutritiva estuvo compuesto por tres partes: A, B y C, descritas en los cuadros 1, 2 y 3.

La segunda (Solución Final), con menor cantidad de nitrógeno y mayor de potasio, también compuesta por tres partes: A, B y C, descritas en los cuadros 4, 5 y 6: la cual se extenderá durante el resto del ciclo. Libuy (2006). Afirma que disminuyendo el nitrógeno y aumentando el potasio se favorece la tuberización

En ambas no se varió el contenido de micronutrientes, siendo el mismo durante todo el ciclo (solución “C”).

Se realizó un análisis del agua utilizada (fig. 14) para ajustar correctamente la solución (Cadhia, 1998). Los parámetros para una correcta solución que no afecte el desarrollo de las plantas radican en: Conductividad eléctrica no mayor a 2 dS/cm, y PH de 6.5 (Otazu et al, 2008).

Residuo Seco	(a 110 °C)		115,8 mg/dm <sup>3</sup>
Carbonatos	(CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )	0,00 meq/dm <sup>3</sup>	0,0 mg/dm <sup>3</sup>
Bicarbonatos	(HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	1,30 meq/dm <sup>3</sup>	79,3 mg/dm <sup>3</sup>
Cloruros	(Cl <sup>-</sup> )	0,19 meq/dm <sup>3</sup>	6,7 mg/dm <sup>3</sup>
Sulfatos	(SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	0,05 meq/dm <sup>3</sup>	2,4 mg/dm <sup>3</sup>
Nitratos	(NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	- meq/dm <sup>3</sup>	- mg/dm <sup>3</sup>
Calcio	(Ca <sup>2+</sup> )	0,90 meq/dm <sup>3</sup>	18,0 mg/dm <sup>3</sup>
Magnesio	(Mg <sup>2+</sup> )	0,50 meq/dm <sup>3</sup>	6,1 mg/dm <sup>3</sup>
Sodio	(Na <sup>+</sup> )	0,14 meq/dm <sup>3</sup>	3,3 mg/dm <sup>3</sup>
Arsénico	(As <sup>3+</sup> /As <sup>5+</sup> )	- meq/dm <sup>3</sup>	- mg/dm <sup>3</sup>
Conductividad Eléctrica		0,15 dS/m	
pH		7,09	

#### **DICTAMEN**

**RIEGO:**

RAS =       PS<sub>leq</sub> =       CSR =

CLASE = C1 S1

**Peligro de Salinización: Bajo**

RAS<sub>aj</sub>\* =

**Peligro de Sodificación: Bajo**

Dureza Total : 70 ppm

Figura 13: Análisis del Agua utilizada para el ensayo.

Tabla 2. Concentraciones de nutrientes para la preparación de la solución nutritiva utilizada en los primeros 30 días de cultivo (Solución Inicial)

<b>FERTILIZANTE</b>	<b>CONCENTRACION (g/1000 litros)</b>
Nitrato de potasio	500
<b>Nitrato de calcio</b>	<b>800</b>
Fosfato de amonio monobásico	150

Solución "A":

<b>FERTILIZANTE</b>	<b>CONCENTRACION (g/1000 litros)</b>
Sulfato de potasio	80
Sulfato de magnesio	380
Sulfato de amonio	45

Solución "B"

<b>FERTILIZANTE</b>	<b>CONCENTRACION (g/1000 litros)</b>
Quelato de hierro	7
Ácido bórico	3
Sulfato de manganeso	4
Sulfato de zinc	1
Sulfato de cobre	0,5
Molibdato de sodio	0,3

Solución "C"

Tabla 3. Concentraciones de nutrientes para la preparación de la solución nutritiva utilizada a partir de los 30 días de cultivo (Solución Final).

<b>FERTILIZANTE</b>	<b>CONCENTRACION (g/1000 litros)</b>
Nitrato de potasio	350
Nitrato de calcio	450
Fosfato monopotásico	150

Solución "A"

<b>FERTILIZANTE</b>	<b>CONCENTRACION (g/1000 litros)</b>
Sulfato de potasio	100
Sulfato de magnesio	405

Solución "B"

<b>FERTILIZANTE</b>	<b>CONCENTRACION (g/1000 litros)</b>
Quelato de hierro	7
Ácido bórico	3
Sulfato de manganeso	4
Sulfato de zinc	1
Sulfato de cobre	0,5
Molibdato de sodio	0,3

Solución "C"



Figura 14: Solución Concentrada



Figura 15: PH y conductividad eléctrica (Mv) de la Solución Final (S2).

A medida que crecían, las plantas, fueron tutoradas con hilo y malla con el fin de evitar el vuelco.

A lo largo del ciclo se realizaron dos aplicaciones con mochila. Una primera aplicación con Carbendazim y Azoxistrobina para combatir enfermedades fúngicas y, una posterior con Dimetoato para el control de pulgones y arañuelas.

Para el resultado económico se realizaron estimaciones por m<sup>2</sup> de unidades productivas de 50 m<sup>2</sup>. Además se realizó un análisis de la producción tradicional en macetas, debido a la falta de desinfectantes eficientes y a que su comercialización se ve restringida cada vez más, una de las alternativas para este tipo de producción es el reemplazo de mantillo y suelo por la utilización de sustratos confeccionados en cada campaña, a partir de materiales “más limpios” y utilizando microorganismos antagónicos para mitigar los problemas sanitarios. De esta manera se plantea analizar ambos sistemas con el objetivo de realizar comparaciones de los resultados. Se evaluaron los costos directos, ingresos y margen bruto de la unidad productiva y luego se llevaron a metros cuadrados para facilitar la comparación.

Para el sistema aeropónico se utilizaron los datos de los insumos, elementos utilizados y los tiempos de cada tarea que llevo durante el ensayo. Para la producción en macetas, se realizaron consultas con un productor el cual brindó información de rendimiento, insumos, mano de obra.

Para la estimación de los costos directos, los precios de los insumos y de la mano de obra fueron fijados según los valores de mercado.

Para la obtención del ingreso, el valor utilizado de los tubérculos fue facilitado por el productor, el cual brindó datos con rangos de precios según el tamaño de los mismo. Este ingreso se obtuvo como producto del número total de minitubérculos de ambas variedades y su precio promedio según el tamaño. El valor utilizado fue de \$14.8 para Atlantic, \$12.4 para Spunta y \$10,6 para la producción en macetas.

El margen bruto se obtuvo mediante la diferencia entre los ingresos y los costos directos.

## RESULTADOS

### Parámetros de crecimiento y desarrollo, rendimiento y poscosecha

Como se observa en la tabla 4, las plantas de la var. Spunta, superaron durante todo el ciclo de cultivo en crecimiento vegetativo a las de Atlantic. Por otra parte, Atlantic inició la floración y la tuberización anticipadamente respecto de Spunta (tabla 5). Del análisis de la varianza de los resultados y según el test de Fisher (fig. 16, 17 y 18) , solo se observan diferencias significativas entre variedades para altura de plantas a los 60 días ( $P \geq 0,05$ ), dónde la variedad Spunta, alcanzó el mayor valor (1,22 m).

Tabla 4. Altura de plantas y días a floración y tuberización en las variedades Spunta y Atlantic desde trasplante en un sistema de cultivo aeropónico.

Margen	SPUNTA	ATLANTIC
Altura a 20 días (cm)	12,5	11
Altura a 40 días (cm)	76,5	67,6
Altura a 60 días (cm)	122	97
Días a inicio de floración	55	42
Días a inicio de tuberización	60	45

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
ALTURA	10	0,23	0,14	12,89

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5,63	1	5,63	2,45	0,1559
VARIEDAD	5,63	1	5,63	2,45	0,1559
Error	18,34	8	2,29		
Total	23,97	9			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=2,20823**  
 Error: 2,2925 gl: 8

VARIEDAD	Medias	n	E.E.
Atlantic	11,00	5	0,68 A
Spunta	12,50	5	0,68 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Figura 16. Análisis de la varianza del parámetro altura a los 20 días.

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
ALTURA	40	0,33	0,25	9,83

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	198,03	1	198,03	3,95	0,0823
VARIEDAD	198,03	1	198,03	3,95	0,0823
Error	401,56	8	50,20		
Total	599,59	9			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=10,33285**  
 Error: 50,1950 gl: 8

VARIEDAD	Medias	n	E.E.
Atlantic	67,60	5	3,17 A
Spunta	76,50	5	3,17 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Figura 17. Análisis de la varianza del parámetro altura a los 40 días.

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
ALTURA	60	0,60	0,55	10,35

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1562,50	1	1562,50	12,16	0,0082
VARIEDAD	1562,50	1	1562,50	12,16	0,0082
Error	1028,10	8	128,51		
Total	2590,60	9			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=16,53342**  
 Error: 128,5125 gl: 8

VARIEDAD	Medias	n	E.E.
Atlantic	97,00	5	5,07 A
Spunta	122,00	5	5,07 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Figura 18. Análisis de la varianza del parámetro altura a los 60 días



Figura 19: Plantas a los 7 días después del trasplante.



Figura 20: Parte radicular en el inicio de tuberización.



Figura 21: Desarrollo de la parte aérea a la primer cosecha.



Figura 22: Desarrollo de la parte radicular día 71.

La primera cosecha se realizó solo en la var. Atlantic, pues los tubérculos en Spunta, aún no habían alcanzado el tamaño adecuado. En la tabla 6 se muestran los rendimientos para el total de las plantas, obtenidos en las dos variedades ensayadas. Puede observarse que el número de tubérculos, al finalizar el período de cosecha, fue mayor en la variedad Atlantic (532 vs 418 de Spunta). El análisis de la varianza (fig. 22), determina que no existen diferencias significativas con respecto a la cantidad de tubérculos cosechados en las dos variedades.

Tabla 6. Número de tubérculos cosechados en el sistema de cultivo aeropónico según variedad y fecha de cosecha

	SPUNTA	ATLANTIC
01/12/2017	-	103
18/12/2017	129	252
24/12/2017	289	177
TOTAL	418	532

Análisis de la varianza					
Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV	
N TUBERCULOS	30	0,10	0,07	86,86	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	38,53	1	38,53	3,09	0,0898
VARIEDAD	38,53	1	38,53	3,09	0,0898
Error	349,33	28	12,48		
Total	387,87	29			
Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=2,64196					
Error:	12,4762	gl:	28		
VARIEDAD	Medias	n	E.E.		
Spunta	2,93	15	0,91	A	
Atlantic	5,20	15	0,91	A	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)					

Figura 23: Análisis de la varianza para el carácter número de tubérculos cosechados

Al analizar el tamaño (peso) de los tubérculos cosechados, se puede observar diferencias en las proporciones de cada categoría establecida (tabla 7), notándose mayor proporción de “muy pequeños” en Spunta y mayor cantidad de tubérculos “grandes”, en Atlantic.

Tabla 7. Clasificación del total de tubérculos cosechados según tamaño, en las variedades Spunta y Atlantic en sistema de cultivo aeropónico

	SPUNTA		ATLANTIC	
	CANTIDAD	%	CANTIDAD	%
MUY PEQUEÑOS	149	35,6	30	5,6
PEQUEÑOS	162	38,8	190	35,7
MEDIANOS	92	22	194	36,4
GRANDES	15	3,6	118	22,3
<b>TOTAL</b>	418	100	532	100

Al evaluar el tamaño de tubérculos según fechas de cosecha, en la primera cosecha que se realizó en la var. Atlantic, los tubérculos fueron en proporciones iguales pequeños y medianos (entre 6 y 23 g), a partir de la segunda cosecha, aumentó la proporción de tubérculos mayores de 23 g (21%) y, en la última cosecha, también se cosecharon tubérculos muy pequeños (17% de menos de 6 g); además hubo mayor proporción de tubérculos medios y grandes que en las dos cosechas anteriores. En la primera cosecha de Spunta, también se observa mayor proporción de tubérculos entre 6 y 23 g y muy pocos grandes, mientras que, en la segunda fecha, a diferencia de lo observado en Atlantic, hubo una alta proporción de tubérculos muy pequeños (51%) y pequeños (35%) en relación a los medianos y grandes (tabla 8).

Tabla 8. Clasificación del total de tubérculos según fecha de cosecha y tamaño, en las variedades Spunta y Atlantic en sistema de cultivo aeropónico.

	SPUNTA					ATLANTIC				
	M.	P.	ME.	G.	T.	M.	P.	ME.	G.	T.
<b>1/12/2017</b>	-	-	-	-	-	-	57%	43%	-	100%
<b>18/12/2017</b>	-	48%	48%	4%	100%	-	39%	40%	21%	100%
<b>24/12/2017</b>	51%	35%	10%	4%	100%	17%	19%	28%	36%	100%

*M.: Muy pequeños P.: Pequeños ME.: Medianos G.: Grandes T.: Total*

En la tabla 9, queda expresado cómo fue la respuesta de los tubérculos al ser expuestos a temperatura ambiente por siete días, luego de haber sido almacenados a 4 °C . Estos presentaron distinto comportamiento de brotación e incluso en algunos no hubo respuesta, es decir, no despertaron y, algunos tubérculos, presentaron pudrición. De todas maneras, el porcentaje de brotación no superó, en el mejor de los casos, el 60%. . Se destacan los cambios en los tubérculos con respecto a la fecha en que fueron cosechados, observándose un comportamiento distinto entre las variedades evaluadas, ya que Spunta presentó un porcentaje de brotación mayor en los tubérculos recolectados en la última cosecha, a diferencia de Atlantic que siguió una tendencia de brotación descendente con respecto a la fecha de cosecha.

Tabla 9. Evaluación de brotación y calidad del total de los tubérculos cosechados en el sistema de cultivo aeropónico, de las variedades Spunta y Atlantic, según fecha de cosecha, luego de ser expuestos a temperatura ambiente durante una semana, previo almacenamiento en frío durante 98 días desde la primer cosecha.

TIPO DE BROTACION	SPUNTA					ATLANTIC				
	A.	M.	S/ B.	P.	% T	A.	M.	S/ B.	P.	% T
1/12/2017	-	-	-	-	-	50%	10,4%	2,6%	37%	<b>100%</b>
18/12/2017	11,3%	0,6%	81,9%	6,2%	<b>100%</b>	13,3%	0%	80%	6,7%	<b>100%</b>
24/12/2017	20,1%	30,4%	45,6%	3,9%	<b>100%</b>	0%	0%	91%	9%	<b>100%</b>

*A: Apical. M: Múltiple. S/B: Sin brotación. P: Pudrición. % T: Porcentaje total*

Al evaluar el comportamiento de los tubérculos con respecto a su tamaño, se observa una clara diferencia entre variedades. Los tubérculos pequeños y medianos de Atlantic son los que muestran un comportamiento más favorable a la brotación, mientras que en Spunta la brotación es más homogénea, siendo un poco mayor en los tubérculos grandes.

Tabla 10. Evaluación de brotación y calidad del total de los tubérculos cosechados en el sistema de cultivo aeropónico, de las variedades Spunta y Atlantic, según tamaño de los tubérculos, luego de ser expuestos a temperatura ambiente durante una semana, previo almacenamiento en frío durante 98 días desde la primer cosecha.

TIPO DE BROTAION	SPUNTA				ATLANTIC			
	A.	M.	S/ B.	% T	A.	M.	S/ B.	% T
MUY PEQUEÑOS	23,1%	17,6%	59,3%	100%	-	-	100%	100%
PEQUEÑOS	12,7%	32,2%	55,1%	100%	25,8%	4,7%	69,5%	100%
MEDIANOS	15,6%	13,6%	70,8%	100%	17,5%	1,6%	80,9%	100%
GRANDES	60%	-	40%	100%	9,1%	-	90,9%	100%

*A: Apical. M: Múltiple. S/B: Sin brotación. % T: Porcentaje total*

## ANÁLISIS ECONOMICO

Tabla 11. Ingreso en pesos por ciclo. Venta de mini tubérculos como semilla básica

	<b>SPUNTA</b>	<b>ATLANTIC</b>
Número de tubérculos producidos	418	532
Precio promedio*	12,4	14,8
<b>INGRESO EN PESOS</b>	5183	7874

\*Precio promedio según tamaño de tubérculos

Tabla 12. Costos directos por metro cuadrado expresado en pesos por ciclo.

Material enraizamiento	120
Nutrientes	450
Material vegetal	345
Mano de obra	1110
Consumo eléctrico	100
<b>TOTAL</b>	2125

Tabla 13. Margen bruto en pesos por metro cuadrado.

	<b>SPUNTA</b>	<b>ATLANTIC</b>
INGRESO	5183	7874
COSTOS DIRECTOS	2125	2125
<b>MARGEN BRUTO</b>	3058	5749

### Comparación con producción en macetas

Tabla 14. Ingresos en pesos por ciclo. Venta de mini tubérculos como semilla básica.

	<b>SISTEMA AEROPONICO</b>		<b>PRODUCCION EN MACETAS</b>
	<b>SPUNTA</b>	<b>ATLANTIC</b>	
Número de tubérculos producidos	418	532	432
Precio promedio	12,4	14,8	10,6
<b>INGRESO EN PESOS</b>	5183	7874	4579

Tabla 15. Costos directos en pesos por metro cuadrado.

	Producción aeropónica	Producción en macetas
Material enraizamiento	120	-
Nutrientes	450	450
Material vegetal	345	655
Sustrato y macetas	-	545
Trichoderma	-	325
Mano de obra	1110	1365
Consumo eléctrico	100	100
<b>TOTAL</b>	2125	3440

Tabla 16. Margen bruto en pesos por metro cuadrado. Se obtiene de la diferencia entre Ingresos y Costos directos.

	SISTEMA AEROPONICO		PRODUCCION EN MACETAS
	SPUNTA	ATLANTIC	
INGRESOS	5183	7874	4579
COSTOS DIRECTOS	2125	2125	3440
<b>MARGEN BRUTO</b>	3058	5749	1139

## DISCUSIÓN

La provincia de Córdoba es la segunda en importancia del país por la producción de papa para consumo. Dado que la utilización de semilla de calidad es fundamental para la rentabilidad del sistema, la multiplicación de semilla básica bajo condiciones controladas, en cantidad y de calidad es fundamental para la producción. Según el diagnóstico realizado, una de las debilidades que hace peligrar la sustentabilidad de estos sistemas es la ausencia de sustratos de calidad y la prohibición de esterilizantes, lo que sumado a la fragilidad del sistema en cuanto a enfermedades y plagas hace cada vez más complicada la obtención de semillas que garanticen una adecuada producción y rentabilidad. Como consecuencia es necesario cambiar la modalidad de producción y el sistema aeropónico surge como una alternativa interesante, comprobada en diferentes países productores, el cual puede mejorar los rendimientos, de manera más rápida y a menor costo que los sistemas de producción tradicionales (Otazú, 2010).

Para ello, en este trabajo, se abordó un ensayo de producción de minitubérculos en aeroponía de dos variedades de comportamiento contrastante (Spunta y Atlantic) y se comparó sus rendimientos y costos con un sistema de producción en macetas con sustrato artificial.

Durante todo el ciclo se observó diferencias entre ambas variedades, ya sea en las fases vegetativas como en las reproductivas. Tanto a los 20, 40 y 60 días, la altura de las plantas de Spunta, fue superior a las de Atlantic, con un 25% de diferencia a los 60 días (122 cm contra 97 cm respectivamente). Por otra parte, en Atlantic, el inicio de floración tuvo lugar a los 42 días del transplante, mientras que, en Spunta, fue a los 55. En papa, el inicio de la floración coincide con el inicio de la tuberización (Egúsquiza, 2005; Valladolid et. al. 1984; Astorga y Rodríguez, 1982), esto se constató dado que los primeros estolones se observaron a los 45 y 60 días respectivamente; como consecuencia, la cosecha de tubérculos se vió retrasada en el caso de Spunta, en la cual se pudieron hacer solo 2 recolecciones, mientras que en la variedad Atlantic se realizaron 3. Este comportamiento puede indicar que la concentración de N de la solución inicial era elevada y que la variedad Spunta es más sensible al nitrógeno respecto a Atlantic, alargando el periodo vegetativo y el inicio de tuberización. La papa responde

positivamente a la fertilización nitrogenada (Suarez L. et al.2006) no obstante, elevadas dosis de N retrasan el inicio de la tuberización y promueven el crecimiento del follaje, pudiendo prolongar el crecimiento vegetativo, retrasar el inicio de tuberización y reducir el rendimiento (Saluzzo et al. 1999). Por lo tanto, si el ciclo de cultivo no es suficientemente largo, los rendimientos serán menores (Libuy W. 2006). También puede afectarse la calidad, al disminuir el porcentaje de materia seca de los tubérculos (Millard y Marshall, 1986; Porter, y Sisson, 1991; Saluzzo et al, 1999; Giletto, et al, 2003; Love et al, 2005). Este retraso en Spunta causó que gran cantidad de tubérculos no pudieron desarrollarse debido al aumento de la temperatura, factor que afecta la partición de los asimilados a los tubérculos aumentando la partición a otras partes de la planta (Ewing y Struik, 1992). Como consecuencia se favorece la entrega de las plantas, obteniéndose numerosos tubérculos de tamaño pequeño, 35,6% del total respecto del 5,6% en la cv Atlantic.

Las concentraciones de nutrientes a utilizar según diferentes fuentes no son del todo claras, tomando rangos, en el caso del nitrógeno, de 190 a 150 ppm para la solución inicial y, entre 150 y 100 ppm para la final (Terán, et al 2011). En un estudio realizado en el Centro Internacional de la Papa, la solución final se compone de 81 ppm de Nitrogeno (Mateus-Rodriguez, et al, 2014), un 50% menor que la concentración utilizada en este trabajo (120 ppm).

La solución aplicada en este ensayo, de 190 y 120 ppm de nitrógeno, para cada fase respectivamente, mostró buenos resultados para la cv Atlantic, pero no así para Spunta. Un desafío particular de la aeroponía es el control del crecimiento excesivo del follaje y sistema radicular, así como la prolongación del período vegetativo, lo cual puede controlarse parcialmente a través de la fertilización (Mateus-Rodriguez, et al., 2014), lo que hace pensar que las soluciones a utilizar deben ser ajustadas para cada genotipo, teniendo en cuenta las condiciones ambientales y su interacción.

La ventaja de este sistemas radica en la posibilidad de controlar la calidad fitosanitaria y el tamaño del tubérculo, de manera tal que, cuando alcanzan el peso adecuado, son cosechados, evitando que sigan acumulando fotoasimilados y, de esta manera, puedan ser destinados a la

formación de nuevos tubérculos. Además, el sistema permite realizar una cosecha escalonada sin la necesidad de eliminar plantas, lo que aumenta el número de minitubérculos producidos (Mateus-Rodríguez, et al. 2014), de esta manera se pudo realizar 3 cosechas en la variedad Atlantic con un promedio de 14 tubérculos/planta/ciclo dando un total de 532/m<sup>2</sup>, y en Spunta 2 cosechas, con un promedio de 11 tubérculos/planta/ciclo y un total de 418/m<sup>2</sup>. La frecuencia de cosecha deberá ser ajustada, buscando que cuando los tubérculos alcancen el tamaño adecuado sean retirados de la planta, evitando que sigan acumulando fotoasimilados y, en cambio, estos sean destinados a la formación de nuevos tubérculos. Cabe destacar que los rendimientos del sistema pueden ser mejorados teniendo en cuenta los factores nombrados anteriormente que influyen en la fisiología de la planta y que están ligados a la tuberización, como adecuar las soluciones según las necesidades de cada variedad, ensayar diferentes densidades y distribuciones de plantas de manera tal que se busque optimizar el aprovechamiento de la luz, como también adelantar la fecha de transplante y el uso de mallas aluminizadas que permitan atenuar las altas temperaturas y alargar el ciclo de cultivo (Rykaczewska, 2016). En un estudio realizado por Rykaczewska, en donde trabajó con cultivares cv. Ametyst, cv. Tajfun con diferentes densidades, obtuvo rendimientos promedios de 36 y 32,5 minituberculos/planta respectivamente, en donde afirma que se puede obtener muy buenos rendimientos si se trabaja en los requerimientos de cada variedad.

En cuanto a la brotación de los tubérculos, luego del periodo de almacenamiento, se observó un mayor porcentaje de tubérculos despiertos en Spunta. Los tubérculos de la cosecha del 18/12/17 mostraron mayor grado de dormición que la de 24/12/17. En relación al tamaño la dormición fue bastante uniforme, siendo algo inferior en los tubérculos de mayor peso, lo que podría deberse a una menor concentración de inhibidores (Tizio, R. 1982). Con respecto a Atlantic, los tubérculos de la primer cosecha manifestaron menor dormición que el resto, y en relación al tamaño los muy pequeños no presentaron brotación. Según Tizio, (1982) las diferencias entre variedades se debe a que la longitud del período de dormición en papa obedece a una condición puramente genética, de carácter estrictamente varietal, lo que debe ser tenido en cuenta al definir el tiempo de almacenamiento de los minitubérculos con el objetivo de tener una correcta brotación a la siembra. No obstante, numerosos factores afectan

el estado de dormición de los tubérculos, tales como las temperaturas, fotoperiodo, estrés, momento en el que se origina el tubérculo y en el que se cosecha, factores que podrían hacer variar la translocación de los inhibidores a los tubérculos (Huarte 2013). Dado que el sistema aeropónico permite diferentes momentos de cosecha, en la que la planta atraviesa diferentes condiciones ambientales y fisiológicas, hace que el fenómeno de la dormición sea bastante complejo y que sea necesario realizar estudios que permitan dilucidar este aspecto.

En cuanto al análisis económico, ambas variedades presentaron un mejor resultado que la producción en macetas con sustrato artificial. Los costos directos del sistema aeropónico fueron inferiores al sistema tradicional, principalmente por el menor uso de plantas por metro cuadrado y la eliminación del uso de sustratos y macetas. Por otro lado, los ingresos brutos fueron mejores debido, principalmente, a un mayor precio de los tubérculos a causa del mayor tamaño. En el sistema aeropónico Spunta produjo 418 tubérculos/m<sup>2</sup> con un precio promedio de \$12.4, en el caso de Atlantic hubo además una mayor producción por metro cuadrado, dando 532 tubérculos/m<sup>2</sup> con un precio de \$14.8, mientras que en la producción en macetas los rendimientos promedio consultados son de 432 tubérculos/m<sup>2</sup> valuados en \$10.6 cada uno.

## CONCLUSIÓN

El sistema aeropónico permite obtener semillas de mayor calidad y cantidad, a un precio competitivo en relación a las producciones tradicionales utilizadas en la provincia de Córdoba, logrando un mejor margen bruto de la actividad.

En ambas variedades se debería adelantar la fecha de trasplante, con el objetivo de tener un adecuado tiempo de tuberización previo a la llegada de las altas temperaturas de diciembre.

Por otra parte, la utilización de media sombra o mallas aluminizadas en el mes de diciembre, ayudaría a disminuir el estrés por temperatura, alargando el ciclo y quizás favoreciendo la formación de tubérculos.

En cuanto a la solución nutritiva, debe ser ajustada para cada variedad. En el caso de Spunta, la solución utilizada muestra un gran desarrollo vegetativo, por lo cual se debería probar utilizar una menor concentración de nitrógeno, y además adelantar el cambio de solución “inicial” a “final”, buscando causar el estrés necesario para favorecer la tuberización.

Ambas variedades muestran un mejor margen bruto que la producción en macetas. Esto se debe por un lado al menor costo directo debido principalmente a la eliminación de sustratos, desinfección y la menor utilización de plantas por metro cuadrado. Por otro lado, la mejora en el margen se debe a la obtención de tubérculos de mayor tamaño que permiten un precio más elevado por unidad. No obstante, se podría aumentar el número de tubérculos por planta, realizando las cosechas con mayor frecuencia y disminuir el número de tubérculos muy grandes, que generalmente son cortados al momento de la siembra.

Entre ambas variedades, bajo estas condiciones, Atlantic presenta el mejor resultado económico debido a la mayor producción por metro cuadrado y mayor peso de los tubérculos, puntos que deberán ser evaluados nuevamente en siguientes ensayos, teniendo en cuenta los aspectos mencionados anteriormente como la formulación de las soluciones, fecha de trasplante, densidad de plantación, momento de cosecha, etc.

## BIBLIOGRAFIA

- Braicovich B. 2011. Solarización. Informe INTA Bordenave. Recuperado de: <https://www.inta.gob.ar/documentos/solarizacion>
- Bročić, Z., Milinković M., Momčilović I., Poštić D., Oljača J., Veljković B. and Milošević D. 2018. Production of potato mini-tubers in the aeroponic growing system. *Journal on Processing and Energy in Agriculture*. 22 (1): 49-52.
- Cadhia, C. 1998. Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales. Ed. Mundi-Prensa. Barcelona, España. 475 p.
- Calderón O. A. 2005. Sustratos agrícolas. Proyecto Fondef DOI1063 - Facultad de Cs. Agronómicas - U. de Chile Avda. Santa Rosa 11.315 - La Pintana, Región Metropolitana, Chile. Recuperado de: <https://lecturayescrituraunrn.files.wordpress.com/2013/08/sustratos-agricolas1.pdf>
- Castagnino A.M. 2009. Manual de Cultivos Horticolas Innovadores. Ed. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 376 p.
- Chuquillanqui C. 2015. Producción de semilla pre básica de Papa por Sistema de Aeroponía. División de Manejo Integrado de Cultivos y Sistema de Producción. Centro Internacional de la Papa (CIP).
- FAO. 2008. "Usos de la papa". Recuperado de: <http://www.fao.org/potato-2008/es/lapapa/utilizacion.html>.
- Garzón M. J. y Young M. 2016. La Producción de papa en Córdoba. Aspectos básicos y potencial productivo. IERAL / Ministerio de Agricultura y Ganadería de Córdoba. Recuperado de: [http://www.magya.cba.gov.ar/upload/Informe\\_IERAL\\_Papa\\_Nov\\_2016.pdf](http://www.magya.cba.gov.ar/upload/Informe_IERAL_Papa_Nov_2016.pdf).
- Giletto C. M., Rattín J., Echeverría H. E. y Caldiz D. O. 2007. Eficiencia de uso del nitrógeno en variedades de papa para industria cultivadas en el sudeste de la provincia de Buenos Aires. *Ciencia del Suelo (Argentina)*, 25(1): 43-51.
- Giletto C. M., Rattín J., Echeverría H. E. y Caldiz D. O. 2011. Requerimiento de nitrógeno para alcanzar máximo rendimiento y calidad en variedades industriales de papa. *Revista FCA UNCUYO*. 43 (1): 85-95.
- Gullino, M.L., A. Camponogara, G. Gasparrini, V. Rizzo, C. Clini, and A. Garibaldi. 2003. Replacing methyl bromide for soil disinfestation. The Italian experience and implications for other countries. *Plant Disease*. 87:1012-20.

- Hartman y Kester .1987. Propagación de plantas. Continental S. A. México 760 p.
- Huarte, M.,Capezio S. 2013. Cultivo de Papa. Unidad Integrada Balcarce INTA FCA UNMdP.CA Recuperado de: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_huarte\\_capezio\\_papa2013.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_huarte_capezio_papa2013.pdf)
- Jatala, P. 1986. *Nematodos parásitos de la papa*. CIP
- Libuy W. 2006. Guía de Manejo Nutrición Vegetal de Especialidad Papa. SQM. Universidad de la Frontera, Chile. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/246364285/SQM-Crop-Kit-Potato-L-ES>
- Maldonado,L., G. Thiele and V. Otazú. 2008. Análisis de costos entre el sistema convencional de producción de semilla de papa de calidad y el sistema por aeroponía. En: “Alternativas al uso del bromuro de metilo en la producción de semilla de papa de calidad”. Documento. CIP. Lima (Perú).
- Maroto J.V. 2002. Horticultura Herbácea Especial. Ed. Mundi-Prensa de trabajo Madrid, España. 704 p
- Mbiyu M. W., J. Muthoni, J. Kabira, G. Elmar, C. Muchira, P. Pwaipwai, J. Ngaruiya, S. Otieno and J. Onditi. 2012. Use of aeroponics technique for potato (*Solanum tuberosum*) minitubers production in Kenya. *Journal of Horticulture and Forestry*. 4(11): 172-177.
- Mosciaro, M. 2011. Caracterización de la producción y comercialización de la papa en Argentina. Área de Economía y Sociología, INTA Balcarce. Recuperado de: [http://www.inta.gob.ar/sites/default/files/scripttmpinta\\_mercado\\_de\\_papa\\_en\\_argentina\\_nov2011.pdf](http://www.inta.gob.ar/sites/default/files/scripttmpinta_mercado_de_papa_en_argentina_nov2011.pdf).
- Otazú V. 2010. Manual on quality seed potato production using aeroponics. International Potato Center (CIP), Lima, Peru. 44 p. Recuperado de: <https://www.research.cip.cgiar.org/confluence/download/attachments/27230705/Manual+Aerpon%C3%ADa.pdf>.
- Rykaczewska, K. 2016. The potato minituber production from microtubers in aeroponic culture. *Plant, Soil and Environment*, 62 (5): 210-214.
- Rothman, S. y Tonelli B. 2007. Cultivo de Papa. En: Apunte de Cátedra Cultivos IV. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Entre Ríos. Pp. 18
- SAGPYA, 2002. Resolución 217 DCC. Normas de producción de papa semilla en condiciones controladas y normas para la fiscalización de papa semilla en campo. Recuperado de: [https://www.inase.gov.ar/index.php?option=com\\_remository&Itemid=102&func=startdown&id=869](https://www.inase.gov.ar/index.php?option=com_remository&Itemid=102&func=startdown&id=869)

- Sandoval Villa M. 2010. Sustratos para Hortalizas. Primer Curso Nacional de Sustratos. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Estado de Mexico. Recuperado de:  
[https://www.academia.edu/8021449/PRIMER\\_CURSO\\_NACIONAL\\_DE\\_SUSTRATO\\_S\\_SUSTRATOS\\_PARA\\_HORTALIZAS](https://www.academia.edu/8021449/PRIMER_CURSO_NACIONAL_DE_SUSTRATO_S_SUSTRATOS_PARA_HORTALIZAS)
- Tizio, R. 1982. Fisiología de la dormición en tubérculos de papa y sus relaciones con el mecanismo hormonal de la tuberización. *AgriScientia*, 3(1): 91-105.
- Tshisola S. N. 2014. Improved potato (*Solanum tuberosum* L.) seed production through aeroponics. Tesis of Master of Science in Agriculture. Faculty of AgriSciences at Stellenbosch University. Sud África. África. 146 p.
- Torres L., Montesdeoca F.y Andrade-Piedra J. 2013 Manejo del Tubérculo Semilla. Centro Internacional de la Papa. Quito, Ecuador. Recuperado de:  
<https://www.cipotato.org/es/sin-categorizar/manejo-del-tuberculo-semilla/>
- Torres, H. 2002. Manual de las enfermedades más importantes de la papa en el Peru. CIP. Lima . Perú. xx p.