

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

ANÁLISIS DEL EFECTO DE DENSIDAD DE SIEMBRA EN LA PRODUCCIÓN
DE SEMILLA PREBÁSICA DE PAPA (*Solanum Tuberosum* var. Chieftain)
BAJO SISTEMA AEROPÓNICO DE PRODUCCIÓN

por

Kleber Manuel MARTÍNEZ RIVIEZZI
Gastón SOUST VERDAGUER

TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo.

MONTEVIDEO
URUGUAY
2018

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. Paula Colnago

Ing. Agr. Luis Aldabe

Ing. Agr. Alfonso Grela

Fecha:

25 de setiembre de 2018

Autores:

Kleber Manuel Martínez Riviezzi

Gastón Soust Verdaguer

AGRADECIMIENTOS

A nuestras familias, parejas y amigos, por estar ahí siempre presentes, brindando apoyo y fuerzas para culminar nuestro trabajo final de carrera.

A Paula Colnago, por los aportes, como también por apoyarnos, exigirnos y comprendernos, a lo largo de la realización de este trabajo.

A Gestesul S.A. (Luis Aldabe, Ricardo Aldabe, Mercedes Peyrou y Alfonso Grela) por su confianza en darnos un espacio para investigar en una tecnología nueva en el país.

A Natalia Curbelo, por el apoyo que nos brindó en el laboratorio del Centro Regional Sur de Facultad de Agronomía, cuando se fue a procesar muestras.

Al equipo de trabajadores de Gestesul S.A. (Germán Sentenaro y Santiago Acosta) que siempre estuvieron a las órdenes y brindando apoyo en la ejecución del ensayo.

A Lic. Sully Toledo por sus aportes en la edición y corrección de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
 1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	 1
1.1. OBJETIVOS.....	2
1.1.1. <u>Objetivo general</u>	2
1.1.2. <u>Objetivos específicos</u>	2
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1. EL CULTIVO DE PAPA.....	3
2.2. PRODUCCIÓN DE SEMILLA DE PAPA.....	4
2.3. ANTECEDENTES EN LA PRODUCCIÓN NACIONAL DE SEMILLA DE PAPA.....	5
2.3.1. <u>Selección clonal y cultivo de meristemas</u>	6
2.3.2. <u>Micropropagación in-vitro</u>	6
2.4. PRODUCCIÓN DE MINITUBÉRCULOS EN SUSTRATO.....	7
2.5. PRODUCCIÓN DE MINITUBÉRCULOS EN SISTEMAS SIN SUELO.....	8
2.5.1. <u>Producción de minitubérculos en hidroponía</u>	8
2.5.2. <u>Producción de minitubérculos en aeroponía</u>	9
2.5.3. <u>Factores del manejo que afectan el rendimiento</u>	10
2.5.3.1. Temperatura.....	11
2.5.3.2. Fotoperíodo.....	11
2.5.3.3. Variedad.....	12
2.5.3.4. Intervalo y número de cosechas.....	12
2.5.3.5. Solución nutritiva, pH y conductividad eléctrica.....	12
2.5.3.6. Densidad de plantas.....	14
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	16
3.1. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	17
3.2. MUESTREOS Y ANÁLISIS DE DATOS.....	17
3.3. CARACTERÍSTICAS DE LAS MESAS.....	18
3.4. SISTEMA DE CONDUCCIÓN.....	19
3.5. MICROPROPAGACIÓN DE PLANTINES.....	20
3.6. SOLUCIÓN NUTRITIVA.....	20
3.7. MANEJO FITOSANITARIO.....	21
3.8. COSECHA Y ALMACENAMIENTO.....	21
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	23
4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA ESTACIÓN DE CRECIMIENTO... ..	23
4.2. CRECIMIENTO VEGETATIVO DE LAS PLANTAS EN AEROPONÍA.....	24

4.3. EFECTO DE LA DENSIDAD EN EL RENDIMIENTO EN AEROPONÍA	31
4.3.1. <u>Análisis económico</u>	35
5. <u>CONCLUSIONES</u>	37
6. <u>RESUMEN</u>	38
7. <u>SUMMARY</u>	39
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	40
9. <u>ANEXOS</u>	45

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Evolución de temperatura máxima, media y mínima mensual durante el ciclo de cultivo en 2015 y entre los años 1985- 2015.	24
2. Crecimiento foliar según densidad.	26
3. Peso promedio de los minitubérculos según densidad.	33
4. Balance de costos e ingresos en producción aeropónica a 42 y 60 plantas/m ²	35
 Figura No.	
1. Esquema de producción de materiales de propagación certificados de papa.	5
2. Mesa y cámara oscura de sistema aeropónico con plantas en etapa de crecimiento de minitubérculos.	16
3. Croquis del diseño experimental.	17
4. Representación gráfica de sistema aeropónico utilizado en el ensayo.	18
5. Mallas de conducción de plantas.	19
6. Sistemas de distribución y reciclaje de solución nutritiva	21
7. Evolución de temperatura máxima, media y mínima durante el ciclo de cultivo en intervalos de diez días	23
8. Altura del tallo principal y número de hojas por planta según densidad. . .	25
9. Evolución del crecimiento de hojas y tubérculos según densidad.	27
10. Evolución del crecimiento acumulado de hojas y tubérculos según densidad.	28

11. Partición de materia seca a los órganos (gMS/m ²) según densidad.	30
12. Número de minitubérculos/planta totales y mayores a 10 g según densidad en cada cosecha.	32
13. Peso promedio de un minitubérculo según densidad en cada cosecha. .	33
14. Número y peso (g) de minitubérculos mayores a 10 g por planta y por m ² según densidad.	34

1. INTRODUCCIÓN

En Uruguay el cultivo de papa es la hortaliza con mayor superficie sembrada, se explotan aproximadamente 4200 ha anuales, con rendimientos promedios entre 18 y 20 Mg/ha. Anualmente es la hortaliza con mayor volumen de ingreso en el mercado modelo.

La calidad de la semilla de papa es uno de los factores determinantes del rendimiento de los cultivos. Debido principalmente a enfermedades virósicas transmitidas por insectos vectores, y a las mermas en los rendimientos que las mismas generan, los productores se ven año tras año obligados a importar semillas desde países con condiciones ambientales favorables para la producción de semilla de calidad. El porcentaje de semilla sembrada de origen importado, en relación a la de origen nacional se encuentra cercano al 30% según el año, y en 2016 se importaron 2787 ton de papa semilla del exterior (INASE, 2017a).

El traslado y comercialización hacen que este insumo sea el más costoso y el productor debe asumir este costo todos los años, generando dependencia de proveedores y reduciendo su margen de ingresos. También debe asumir el riesgo de introducir patógenos exóticos al país.

En la región la producción de semilla prebásica de papa se realiza tradicionalmente en invernaderos y se utiliza sustrato como medio de cultivo para los tubérculos. Dependiendo de la variedad se pueden lograr entre dos a siete minitubérculos semilla por planta bajo este sistema, siendo una tasa de multiplicación baja en relación a los elevados costos que este requiere.

En los últimos años se han desarrollado sistemas de producción de papa semilla sin la utilización de suelo, como son el método hidropónico y aeropónico. En este último se han logrado rendimientos hasta 10 veces más altos que los alcanzados con el método convencional.

El método aeropónico se presenta como una alternativa al método convencional por reducir los costos y al mismo tiempo aumentar la tasa de multiplicación. Asimismo presenta ventajas sobre el método hidropónico en relación a la calidad de los minitubérculos logrados y la aireación del sistema radicular.

Varios autores señalan que existen comportamientos diferentes utilizando distintos cultivares bajo producción aeropónica, por lo tanto es necesario determinar ciertos parámetros de manejo, que permitan obtener una

producción de semilla de variedades adaptadas a nuestras condiciones y económicamente accesibles por los productores.

El propósito del presente trabajo fue estudiar el efecto de la densidad de siembra en cultivo aeropónico de semilla prebásica de papa (*Solanum tuberosum* var. Chieftain) sobre el rendimiento de minitubérculos así como el crecimiento y desarrollo de los diferentes órganos.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo general

Contribuir en la generación de conocimiento sobre la producción de semilla de papa de calidad bajo el método aeropónico, con la finalidad de que los sistemas sean más eficientes y que los productores puedan disponer de semilla nacional de alta calidad y bajo costo.

1.1.2. Objetivos específicos

Analizar el efecto de tres densidades de plantación sobre el rendimiento de semilla pre-básica de papa (*Solanum tuberosum* var. Chieftain) bajo sistema aeropónico de producción.

Evaluar cómo afecta la densidad de plantas al crecimiento y desarrollo del cultivo bajo sistema aeropónico.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. EL CULTIVO DE PAPA

Originario de las áreas montañosas de los Andes en América del Sur (en los alrededores del lago Titicaca), el cultivo de papa fue introducido en Europa en el siglo XVI y de allí llevada al resto del mundo. Actualmente, las papas son cultivadas y consumidas en más países que cualquier otro cultivo, y en la economía global es el cuarto cultivo en importancia luego de tres cereales: maíz, arroz y trigo (Dogliotti et al., 2001).

La papa pertenece a la familia de las solanáceas, crece bien en climas templados, con temperaturas entre 15° y 27°C. Requiere una estación de crecimiento con un largo mínimo de tres a cuatro meses, en la cual las temperaturas no sean demasiado altas (> 30°C) ni demasiado bajas (<5°C) (Dogliotti et al., 2001).

El órgano consumido es el tubérculo. Este es un órgano subterráneo de almacenamiento de reservas y resistencia. La planta, en las condiciones climáticas del centro de origen, lo forma cuando percibe del ambiente las señales de que se aproxima el invierno o la estación desfavorable para el crecimiento (fotoperíodo decreciente). Los tubérculos sobreviven en dormancia durante el invierno y en la primavera, cuando las condiciones de temperatura son favorables para el crecimiento, brotan originando una nueva planta (Dogliotti et al., 2001).

La papa es una planta perenne, por sus tubérculos, pero que se comporta como anual. Puede llegar a producir frutos con semillas viables, pero la forma de propagación utilizada a nivel de la producción comercial es la vegetativa (Dogliotti et al., 2001).

Es un cultivo sensible a heladas por lo tanto en las condiciones de nuestro país el ciclo de producción va desde fines de invierno a fines del otoño siguiente. A su vez este período es dividido en dos por la presencia de altas temperaturas en el verano, que no son apropiadas para el crecimiento de tubérculos. Estas características permiten que en el Uruguay se produzca papa en dos ciclos principales durante el año, uno en primavera/verano y otro en verano/otoño (Aldabe, 2001).

2.2. PRODUCCIÓN DE SEMILLA DE PAPA

El cultivo de papa se caracteriza por presentar una alta inversión por hectárea, y en la composición de los costos, la semilla ocupa de un 30 a 40% de los mismos (INIA, 1990).

Para la producción del ciclo verano/otoño se utiliza mayormente papa semilla importada de países del hemisferio norte, principalmente Canadá, Estados Unidos y Francia (INASE, 2017a). Luego de que esta es cosechada, una parte se destina para el consumo y otra se destina como papa semilla para la producción del ciclo primavera/verano o su conservación en frío y producción del ciclo verano/otoño del año siguiente (De Los Santos, 2001).

La papa semilla de producción nacional con respecto a la importada presenta algunas diferencias en la calidad que afectan las decisiones a tomar por los productores. Una de estas diferencias es el costo. En la zafra de otoño de 2016 la bolsa de 25 kilos de semilla importada de la variedad Chieftain se valorizó en U\$S 43,6¹, mientras que el valor de la semilla nacional de la misma variedad fue de U\$S 35.²

Otra diferencia entre estas es el estado fisiológico al momento de la siembra. Generalmente las papas que ingresan al país del hemisferio norte lo hacen en estado de “dominancia apical” mientras que las nacionales se encuentran en estado de “brotación múltiple” (De Los Santos, 2001).

Además existe una diferencia entre ambas semillas en cuanto a la flexibilidad del periodo de siembra, debido a que la disponibilidad de semilla importada está condicionada por la fecha de su ingreso al país (De Los Santos, 2001).

El material que se importa como semilla es multiplicado en condiciones desfavorables que conducen a una degeneración de su calidad original, debido principalmente a la alta incidencia de enfermedades virósicas transmisibles por semilla (De Los Santos, 2001).

¹ Luzardo, F. 2016. Com. personal.

² Braida, C. 2016. Com. personal.

2.3. ANTECEDENTES EN LA PRODUCCIÓN NACIONAL DE SEMILLA DE PAPA

Para la producción de semilla de papa es imprescindible contar con un material sano, así se logra evitar la transmisión de enfermedades virósicas. Para esto se puede trabajar con materiales importados, los cuales son de alto costo y tienen riesgo de introducir enfermedades exóticas, o utilizar materiales nacionales, que en los últimos años, han desarrollado importantes mejoras en lo que refiere a sanidad, multiplicación “in vitro” y producción de minitubérculos (Fernández, 2001).

La semilla de papa certificada se obtiene luego de multiplicar el material inicial, en bloques de multiplicación sucesivos. Los mismos se originan en el bloque 0 con semilla prebásica, continúa con los bloques I, II y III como semilla básica y culmina con los bloques IV, V, y VI como semilla certificada. Al menos cuatro generaciones deben transcurrir entre el bloque 0 y la obtención de semilla de categoría certificada.

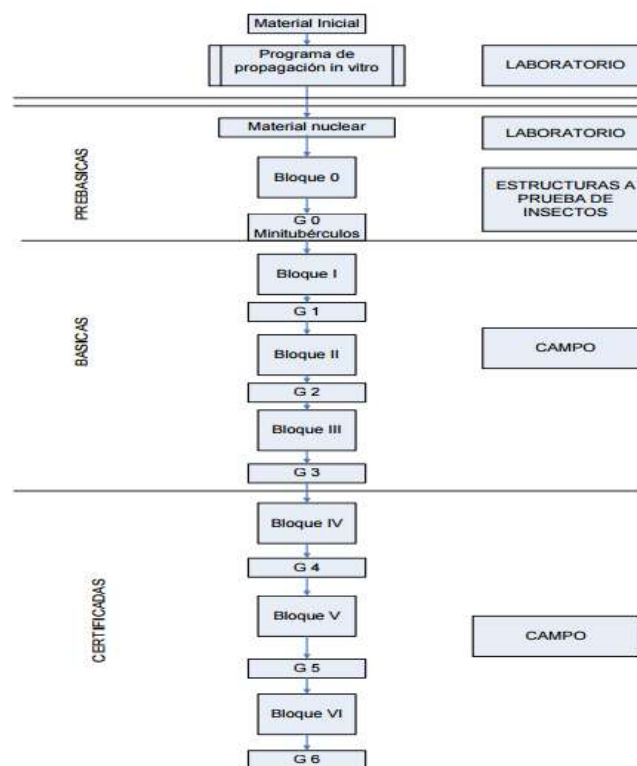


Figura No. 1. Esquema de producción de materiales de propagación certificados de papa. Fuente: INASE (2017b).

El proceso comienza con un cultivo de meristemas a partir de plantas seleccionadas del material inicial, para lograr obtener plantas libres de virus. Continúa con una micropropagación in-vitro, donde el objetivo es aumentar rápidamente el número de plantas disponibles. Finalmente las plantas, previamente aclimatadas, pueden ser trasplantadas a campo o destinadas a la producción de minitubérculos en invernadero bajo diferentes métodos: con sustrato, hidroponía o aeroponía (Fernández, 2001).

Test de virus y bacterias son realizados en diferentes etapas del proceso para controlar y asegurar que se continúe la multiplicación sin materiales contaminados (Fernández, 2001).

2.3.1. Selección clonal y cultivo de meristemas

Se parte de la selección del material madre en un cultivo donde se eligen plantas que correspondan a la variedad deseada, presenten un buen vigor y sin síntomas de enfermedades. Una vez cosechados los tubérculos se desinfectan y son almacenados en un lugar limpio y oscuro, hasta que comience la brotación (período de dos a cuatro meses dependiendo de la variedad). En esta etapa se realiza un diagnóstico para determinar el estado sanitario del material, para los virus más frecuentes de Uruguay (PLRV, PVY, PVX Y PVS, Fernández, 2001).

El aislamiento de meristemas es la etapa que continúa, y tiene como objetivo la obtención de material libre de virus, para el inicio de un nuevo cultivo, regenerando la planta original, en forma genéticamente estable y permitiendo erradicar otros potenciales patógenos. Este proceso debe realizarse en condiciones asépticas, y consiste en la extracción del domo meristemático solo o con sus dos primeros primordios foliares, para posteriormente colocarlo en un medio de cultivo y bajo condiciones de crecimiento controladas (Fernández, 2001).

2.3.2. Micropropagación in-vitro

El objetivo de este proceso es aumentar el número de plantas en poco tiempo. Esto se logra mediante sucesivas multiplicaciones de nudos, provenientes de las plantas saneadas, en medios de cultivo y condiciones de crecimiento controladas. Con un fotoperíodo de 16 horas, temperaturas entre 20 y 23 °C e intensidad lumínica de 3000 lux, un nudo puede transformarse en una planta nueva en quince a veinte días dependiendo de la variedad (Fernández, 2001).

Al final de este proceso, cuando se cuenta con un número de plantas suficiente, estas deben ser lavadas para eliminar restos de medio de cultivo y acondicionadas en recipientes con sustratos adecuados. Se deben aclimatar las plantas para prepararlas al cambio de condiciones de crecimiento artificiales: temperatura, humedad relativa y luminosidad controladas, a un ambiente natural y con condiciones variables (Fernández, 2001).

2.4. PRODUCCIÓN DE MINITUBÉRCULOS EN SUSTRATO

La multiplicación en sustrato, es el sistema tradicionalmente usado para producir minitubérculos en invernáculo. El objetivo es la producción de un número elevado de unidades de plantación en poca superficie y en condiciones elevadas de aislación, en especial en lo referente a insectos vectores de enfermedades virósicas (Fernández, 2001).

En este caso el material de laboratorio se aclimata directamente en los recipientes donde se producen los minitubérculos. El trasplante se hace a densidades altas (10x10 o 10x15 cm) en canteros de 1 m de ancho y de 20-30 cm de altura. El sustrato usado puede tener diferentes orígenes dependiendo de los materiales disponibles en la zona, pero debe cumplir con algunas características de calidad como tener alta macroporosidad y libre de patógenos (Fernández, 2001).

La principal desventaja que presenta este método es la baja tasa de multiplicación. Varios autores afirman que la tasa de multiplicación de este método es entre dos y siete tubérculos por planta dependiendo de la variedad (Fernández 2001, Daniels et al., citados por Factor et al. 2007). Esto hace que para obtener cantidades de papa semilla “hija” (G0) a escala comercial, se deba partir de un volumen alto de papa semilla “madre” (material nuclear), elevando los costos.

Factor et al. (2007) citaron a varios autores (Wheeler et al., Wan et al., Muro et al., Rolot y Seutin, Ritter et al., Rolot et al.) que destacan la conveniencia de los métodos que no usan sustrato sobre este método. Los métodos hidropónicos y aeropónicos presentan una mayor tasa de multiplicación debido a que permiten una cosecha escalonada de tubérculos, no existe el contacto entre tubérculos y fitopatógenos de suelo, mayor facilidad de limpiar después del ciclo de producción y mejor control sobre los factores que interfieren en la nutrición de las plantas (Factor et al., 2007).

Las desventajas y limitaciones que presenta la multiplicación por los métodos tradicionales bajo sustrato, llevaron a desarrollar la técnica de la producción bajo el sistema hidropónico y aeropónico.

2.5. PRODUCCIÓN DE MINITUBÉRCULOS EN SISTEMAS SIN SUELO

Debido a las limitaciones que presenta el sistema tradicional de producción con sustrato, tanto en rendimiento como en sanidad, en los últimos años se han desarrollado sistemas de producción hidropónica y aeropónico como alternativas a este método.

Estos sistemas alternativos han demostrado reducir los costos de producción y al mismo tiempo aumentar la tasa de multiplicación de las semillas de calidad en un ambiente protegido de patógenos (Calori et al., 2014).

Otazú (2007) registró rendimientos de hasta 80 minitubérculos por planta utilizando el sistema aeropónico, superando ampliamente a los rendimientos que se obtienen con el método convencional.

Una de las principales ventajas que presentan estos métodos es la posibilidad de realizar una cosecha no destructiva, es decir, cosechar solo los minitubérculos que alcanzan el tamaño de cosecha sin destruir la planta y así permitir que la misma continúe su crecimiento. Lommen (1995) presentó un sistema de producción con sustrato en el cual se realizaba una cosecha escalonada moviendo cuidadosamente las plantas del sustrato, permitiendo así cosechar minitubérculos de tamaño ideal. Si bien esta técnica permite aumentar el número de tubérculos por planta cosechados, el rendimiento total se reduce.

2.5.1. Producción de minitubérculos en hidroponía

La producción hidropónica consiste en desarrollar cultivos cuyas raíces se encuentran sumergidas en una solución nutritiva, sin suelo o con la utilización de sustratos inertes como sostén (fibra de coco, arena, etc.).

La multiplicación de semilla pre básica de papa por hidroponía, se ha presentado como otra alternativa para levantar la baja eficiencia de los sistemas convencionales, con bajas tasas de multiplicación.

En condiciones de hidroponía Medeiros et al. (2002) obtuvieron 32,4 y 23 minitubérculos por planta con cosechas escalonadas, en las variedades Baronesas y Elisa respectivamente, por sistema de NFT (Nutrient Film Technique).

El aumento de la productividad ofrecido por la hidroponía, y demostrado por Medeiros et al. (2002) se debe a algunas características del sistema como: la ausencia de enfermedades de raíz; el poder mantener la solución cerca del sistema radicular; y control de la solución nutritiva y el pH, que permiten realizar

las correcciones correspondientes para obtener una mayor absorción de nutrientes.

2.5.2. Producción de minitubérculos en aeroponía

La aeroponía es un sistema hidropónico donde el sistema radicular de las plantas se encuentra creciendo y desarrollando en un ambiente oscuro sin sustrato, y que es saturado con micro gotas de solución nutritiva (Nichols, 2005).

Este método presenta numerosas similitudes con el método hidropónico, tales como la posibilidad de cosechar repetidas veces y obtener minitubérculos más uniformes; el fácil manejo de la sanidad y la fertilización del cultivo; y una mayor precisión en el monitoreo del pH y conductividad eléctrica (Abdullateef et al., 2012).

Sin embargo, varios autores (Soffer y Burger 1988, Wheeler et al. 1990), afirman que la aeroponía en comparación con la hidroponía optimiza la aireación de las raíces y no genera daños en el tejido peridérmico de los tubérculos por acumulación de sales de la solución nutritiva. Estos dos factores determinan que la hidroponía logre un menor rendimiento tanto cuantitativo como cualitativo.

Relloso et al. (2000) compararon los sistemas convencional, hidropónico y aeropónico para la producción de minitubérculos de papa cv. Nagore. El rendimiento medio fue más alto con el sistema aeropónico y la producción de minitubérculos por planta fue el doble respecto a los sistemas de cultivo convencional e hidropónico.

García (2013) enumera ciertas ventajas del sistema aeropónico sobre el sistema convencional con sustrato, entre ellas: menor consumo de agua y fertilizante; mayor número de tubérculos/planta; mayor desarrollo de follaje, sistema radicular y estolones; mayor facilidad para realizar limpiezas, período vegetativo más largo; etc.

Para producciones a gran escala este método tiene ciertas desventajas. Algunas de ellas son: el alto costo de instalación de la infraestructura, requerimiento tanto de tecnologías como personal capacitado para producir, y la alta vulnerabilidad de las plantas ante alguna falla en el sistema eléctrico o de bombeo de agua (Ritter et al., 2001).

A pesar de ser un método que se conoce hace mucho tiempo, no se ha estudiado en profundidad todos los factores de manejo que determinan el

rendimiento, menos aún en todas las regiones que se produce papa y siendo esta una especie con gran número de cultivares.

2.5.3. Factores del manejo que afectan el rendimiento

El proceso de tuberización, responsable de definir el rendimiento, es influenciado por factores ambientales e intrínsecos; entre los que se destacan el genotipo, la concentración interna de ácido giberélico, fotoperíodo, temperatura, la radiación interceptada por la planta, entre otros (Struik y Wiersema, 1999).

Struik y Wiersema (1999), mencionan algunos de los factores que pueden ser controlados para incrementar la producción de minitubérculos en invernadero. Estos son: momento de inicio de fertilización, solución nutritiva y su composición, densidad de plantación, arreglo espacial de las plantas y diámetro mínimo de los tubérculos a ser cosechados.

Wang (2008) destaca la importancia de otros factores a ser controlados para asegurar la cantidad y calidad de tubérculos semilla, como son: la temperatura de la zona radicular, el pH, el régimen hídrico, el suministro de nitrógeno y el número total de cosechas.

2.5.3.1. Temperatura

La temperatura es un factor determinante del rendimiento del cultivo de papa, y el éxito del cultivo estará determinado por la evolución de temperaturas a lo largo del mismo, regulando el crecimiento de órganos y adelantando o postergando procesos de desarrollo como el inicio de tuberización.

Gregory (1956) menciona que de día y principalmente de noche temperaturas por encima del óptimo reducen drásticamente el rendimiento de tubérculos.

La temperatura óptima para el crecimiento del follaje y la fotosíntesis neta es de 20 y 25°C, respectivamente. Las temperaturas medias bajas (15-19°C) y los fotoperíodos cortos (12h) son favorables para la tuberización y el crecimiento temprano del tubérculo (Vandam et al., 1996).

Chang et al. (2006), Struik (2007) señalan que la temperatura del aire y de la zona radicular superiores a 30°C retrasan el inicio de la tuberización. Asimismo, Levy (1992) afirma que las altas temperaturas reducen la síntesis de fotoasimilados y aumentan la respiración de mantenimiento. Además la partición de asimilados hacia los tubérculos se reduce y son translocados hacia

otras partes de la planta. Esto restringe la materia seca que acumulan los tubérculos y disminuye el rendimiento.

Varias son las medidas de manejo que pueden ser tenidas en cuenta para poder asegurar que las temperaturas se encuentren dentro de niveles óptimos para el crecimiento de los tubérculos. Entre ellas se pueden mencionar: las dimensiones del invernáculo, adecuada circulación de aire, sistemas de calefacción del aire y de la solución nutritiva, sistemas nebulizadores de agua por encima del follaje, colocación de mallas sombras, entre otras, que dependen del grado de tecnificación del sistema que se desea instalar.

Varios autores (Levy y Veilleux 2007, Went, citado por Tshisola 2014) concuerdan que existen diferentes respuestas a la temperatura en diferentes cultivos. A su vez Davis et al., citados por Tshisola (2014) encontraron que ciertas especies del género *Solanum* están bien adaptadas a temperaturas más altas.

2.5.3.2. Fotoperíodo

La papa en su centro de origen, se cultiva a los 2000 a 4000 m de altitud, en una región caracterizada por fotoperíodos cortos, con alta intensidad de luz, temperaturas frías y relativamente alta humedad (Levy y Veilleux, 2007).

Fotoperíodos cortos favorecen la tuberización sobre el crecimiento de estolones (Ewing y Struik, 1992), mientras que los días largos benefician el desarrollo vegetativo, pero los tubérculos se forman tres a cinco semanas más tarde que las plantas que crecen en días cortos (Chapman, 1958).

Wheeler et al. (1990) observaron dos variedades creciendo con luz continua, las que a los veintiocho días habían producido sólo algunos tubérculos y cuando fueron sometidas a fotoperíodos de 12 horas. El crecimiento de tubérculos progresó rápidamente.

Levy y Veilleux (2007) descubrieron que cuando se desarrolla el cultivo con baja intensidad de luz en invierno, el máximo peso de los tubérculos se alcanza con 12 y 14 °C, mientras que en verano con alta intensidad de luz, el máximo peso era alcanzado con 18 y 20 °C.

2.5.3.3. Variedad

Si bien la variedad se considera como un factor de manejo que se puede modificar para obtener mejor rendimiento de minitubérculos en aeroponía, la variedad debe ser escogida teniendo presente que la producción

obtenida posteriormente será multiplicada a campo y deberá estar adaptada a ambas condiciones.

Aviles, citado por Santos y Rodríguez (2008), asegura que los cultivares de papa bajo producción a campo responden de manera distinta a la relación número y peso de los tubérculos, dependiendo principalmente del arreglo espacial.

Varios autores (Tierno et al. 2014, Orbay et al. 2015, Calori et al. 2017) señalan que existen comportamientos diferentes utilizando distintos cultivares bajo producción aeropónica.

2.5.3.4. Intervalo y número de cosechas

La cosecha de minitubérculos en aeroponía se realiza de manera manual, deben tomarse sólo los tubérculos que superan el criterio de cosecha y permitir que los estolones sigan desarrollando nuevos tubérculos.

Tshisola (2014) afirmó que la eliminación de los minitubérculos grandes dominantes, permiten la iniciación de nuevos minitubérculos, así como el desarrollo de los minitubérculos ya existentes, para futuras cosechas.

El tiempo que transcurre entre una cosecha y otra se denomina intervalo de cosecha, y este afecta el grado de homogeneidad del tamaño de los tubérculos cosechados. Farran y Mingo-Castel (2006) evaluaron intervalos de cosecha de siete, diez y catorce días, y Tshisola (2014), además de los anteriores evaluó a dieciocho días y todos concluyeron que cuanto menor es el intervalo entre cosechas mayores son los rendimientos.

2.5.3.5. Solución nutritiva, pH y conductividad eléctrica (CE)

En este tipo de sistemas, que no utilizan suelo, cobra importancia conocer las necesidades nutricionales del cultivo, para suministrar adecuadamente los micro y macro nutrientes en cada etapa fenológica, según el mismo lo demande.

Una correcta solución nutritiva proporciona a las plantas los nutrientes necesarios para producir altos rendimientos y de calidad, y al mismo tiempo disminuir la susceptibilidad a factores de estrés biótico como insectos y enfermedades así como de estrés abiótico, como problemas relacionadas a deficiencias nutricionales (Tessema et al., 2017).

Tessema et al. (2017) compraron diferentes soluciones nutritivas en una misma variedad, bajo condiciones de aeroponía y concluyen que estas afectan de manera significativa la longitud de las raíces y el número y peso de los tubérculos.

Varios autores relacionan al N como el nutriente principal a manejar al momento de inicio de tuberización. Ritter et al. (2001) observaron que cuando se incrementa el aporte de N en la solución nutritiva de plantas de papa creciendo en aeroponía el crecimiento vegetativo se ve favorecido y se retrasa el inicio de la tuberización.

Por otro lado, Farran y Mingo-Castel (2006), afirmaron que con condiciones ambientales apropiadas para tuberizar, una disminución del suministro de N, ralentiza el crecimiento vegetativo seguido de un importante período de inducción de tubérculos de tres semanas, durante el cual aumentarán tanto el porcentaje de tuberización como el número de tubérculos por planta.

Un pH y CE óptimos permiten la máxima disponibilidad de nutrientes para las plantas, y estos parámetros son afectados por la calidad química del agua y de los nutrientes utilizados en la solución (Otazú, 2010).

Según Orbay et al. (2015) las plantas de papa se adaptan bien a condiciones ácidas, y el óptimo crecimiento se da entre pH 5 y 6. Sin embargo, este autor menciona que Wan et al. (1994) reportaron que a bajos niveles de pH ambiental, se reduce significativamente la absorción de nutrientes, especialmente en cultivos sin suelo, y que puede disminuir en gran medida la fotosíntesis y el crecimiento de la planta.

La CE refleja la concentración total de iones en la solución nutritiva y afecta la absorción de nutrientes, crecimiento de plantas, productividad y calidad de tubérculos. Definir la mejor CE de la solución de nutrientes es esencial para alcanzar todo el potencial de la producción de semilla de papa (Chang et al., 2011).

La composición ideal de una solución nutritiva depende de la concentración de nutrientes, además de otros factores vinculados al cultivo, como el tipo de sistema hidropónico, ambiente, etapa fenológica, especies de plantas y cultivares (Furlani et al., 1999).

Calori et al. (2017), reportaron la productividad más alta de minitubérculos cuando trabajó con una CE en solución nutritiva del entorno de

2.2 y 2.1 dS · m⁻¹, en las variedades Agata y Asterix, independientemente de las densidades de planta.

2.5.3.6. Densidad de plantas

La densidad de plantas corresponde a la cantidad de plantas que se disponen por unidad de superficie. Esta variable determina el grado de competencia intraespecífica que existe entre las plantas por los recursos.

Aumentar la distancia entre las filas de plantas, en el método convencional, lleva a un aumento en la producción de tubérculos/planta. En sistemas de producción se busca obtener la mayor cantidad posibles de minitubérculos, de un tamaño adecuado, por unidad de superficie (Santos y Rodríguez, 2008).

En el sistema aeropónico la densidad no genera competencia por agua y nutrientes, ya que todas las raíces son dispuestas en el aire y asperjadas por la solución nutritiva, en cambio la captación de radiación se ve afectada, una mayor densidad de plantas implica una mayor capacidad de sombreadamiento, siendo más ineficiente en el uso de la luz.

Calori et al. (2017), reportaron que a mayor densidad (100 plts/m², en comparación con 66, 44 y 25) obtuvieron plantas más altas, mientras que el número de hojas y tallos disminuyó. Este efecto inverso lo atribuyen los autores a la competencia intraespecífica por luz cuando aumenta la densidad. En esta situación la mayoría de los fotoasimilados son utilizados para la elongación del tallo en detrimento de la emergencia de hojas (Olivera, 2000). Struik y Lommen (1990) usando altas densidades de plantas de 800 plantas/m² observaron diferencias entre parámetros como altura de plantas.

El largo del ciclo de cultivo es afectado por la densidad de plantas, según Flores-López et al. (2009), quienes encontraron en cultivo hidropónico, que a densidades de 8, 16 y 25 plantas/m² la tasa máxima de acumulación de materia seca se dio a los cincuenta días desde trasplante y posteriormente presentaron un descenso, mientras que con 45 plantas/m² el máximo se dio a los setenta y cinco días desde trasplante, sin observarse tal descenso. Los autores indican que el aumento de la densidad alarga el ciclo de cultivo posiblemente debido a condiciones no inductivas de tuberización ocasionadas por la menor captación de radiación por planta. También concluyó que con el aumento de la densidad se logra un mayor índice de área foliar, tasa absoluta de crecimiento, tasa de asimilación neta y tasa económica de asimilación neta (tasa de crecimiento de tubérculos por día), incrementando así la tasa de

crecimiento del cultivo, así como la biomasa y número de tubérculos mayores de 10 mm por unidad de superficie.

Abdullateef et al. (2012) obtuvieron rendimientos de minitubérculos/planta significativamente mayores a 25 plantas/m², en comparación con 35 y 50 plantas/m². El rendimiento por unidad de superficie no presentó diferencia significativa en ninguna de las densidades. Farran y Mingo-Castel (2006) reportaron rendimientos de 804 y 390 minitubérculos/m² en densidades de 60 y 100 plantas/m² respectivamente, con intervalos de cosecha de siete días. El descenso del rendimiento al aumentar la densidad, es atribuido por el autor, a la fuerte competencia por luz existente en altas densidades.

Contrariamente a lo observado por Farran y Mingo-Castel (2006), Abdullateef et al. (2012), Calori et al. (2017) demostraron también en aeroponía, un aumento en el número de minitubérculos/m² obtenidos cuando aumenta la densidad de plantas de 66 a 100 plantas/m².

Cabe destacar que en los trabajos anteriormente citados se trabajaron con diferentes cultivares, así como criterios e intervalos de cosecha, lo cual podría afectar la respuesta bajo similares condiciones. La densidad óptima para una producción comercial depende de la variedad utilizada, del número deseado de minitubérculos y de los costos de producción, entre ellos: el costo del material inicial, plantas in vitro, tamaño del invernadero y labores culturales (Struik y Wiersema, 1999).

Diferentes autores demostraron comportamientos diversos, en algunos casos contradictorios, en relación a cómo influye en el rendimiento la densidad de plantas. Por tal motivo es necesario estudiar este factor utilizando las variedades de uso local y bajo las condiciones ambientales de nuestra región.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en Montevideo rural, próximo a Melilla, 34°48'17.7"S 56°16'31.9"W. La instalación del cultivo fue el 12 de marzo de 2015, y la finalización del ciclo el 12 de junio del mismo año.

El invernáculo donde se realizó el experimento se construyó sobre una estructura de madera, con cortinas de nylon, malla antiáfidos (50 mesh) en los laterales y techo en dos aguas. Las dimensiones del mismo fueron 28 m de largo por 9 m de ancho, con orientación Norte-Sur.

Se dispusieron dos mallas sombra para proteger las plantas de la alta radiación. Una de ellas se colocó fija por encima del techo, mientras que la otra, situada internamente entre el cultivo y el techo, era móvil y se usaba en horas de mayor radiación.

El método aeropónico no utiliza el suelo para sostener las plantas, sino que las mismas están suspendidas en el aire apoyadas de la base del tallo sobre una mesa con perforaciones que permite tanto el crecimiento de las raíces hacia abajo, como brindar sostén a la parte aérea.



Figura No. 2. Mesa y cámara oscura de sistema aeropónico con plantas en etapa de crecimiento de minitubérculos.

3.1. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental fue en bloques completos al azar. Presentó seis bloques con tres tratamientos, siendo estas tres densidades diferentes (25, 42 y 60 pl/m²).

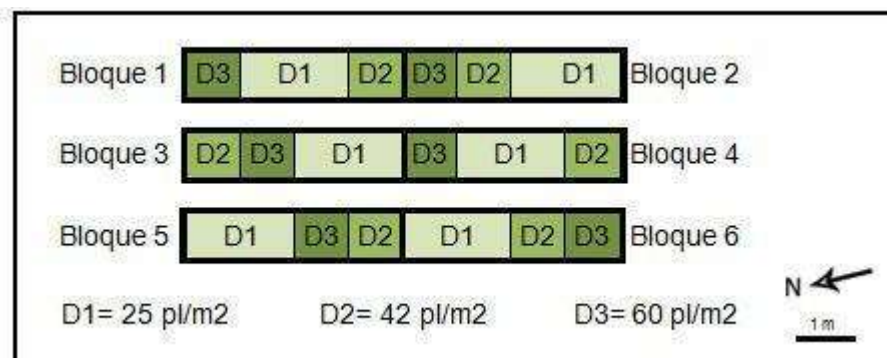


Figura No. 3. Croquis del diseño experimental.

La dimensión de las unidades experimentales fue 1m x 1m, a excepción de las unidades experimentales de la densidad de 25 pl/m², que fueron de 2m x 1m, para obtener un número de plantas que permitiera realizar los muestreos destructivos previstos.

3.2. MUESTREOS Y ANÁLISIS DE DATOS

Se realizó al momento de trasplante un muestreo de los plantines que permitió conocer el estado inicial del material de propagación.

Para evaluar el rendimiento obtenido de cada uno de los tratamientos se realizaron muestreos destructivos en cada cosecha. El muestreo consistió en extraer 12 plantas por cada tratamiento (2pl/tratamiento/bloque), que eran elegidas previamente considerando la presencia de todas sus plantas adyacentes. Este procedimiento se realizó en cada cosecha.

En cada muestreo se cuantificaron las siguientes variables: altura de parte aérea; número de hojas, ramas, tallos, estolones, tubérculos superiores a 10 g y tubérculos totales; peso fresco de tubérculos superiores a 10 g y tubérculos totales; y peso seco de hojas, tallos, estolones, raíces y tubérculos totales. También fue cuantificado el peso fresco del total del follaje y de un área conocida del mismo para realizar una estimación del índice de área foliar a través del área foliar específica (AFE).

El análisis estadístico de los datos se realizó utilizando el software R Studio versión 0.98.1103

3.3. CARACTERÍSTICAS DE LAS MESAS

Para simular las condiciones de oscuridad y humedad del suelo, el diseño de las mesas debió contar con una cámara oscura en la parte inferior para permitir el desarrollo de raíces y tubérculos.

El material utilizado fue hierro (planchuelas y barras de ángulo), la dimensión de las mesas fue de 6 m de largo por 1 m de ancho y la profundidad de la cámara oscura de 0,8 m.

En la parte superior de la mesa se dispusieron planchas de espuma plast (soporte de plantas), recubiertas con nylon para evitar el ingreso de luz a la parte inferior donde se encuentra la cámara oscura. Finalmente se construyó con espuma plast y nylon, el cajón recolector de solución nutritiva y con un nylon lateral se culminó el armado de la cámara oscura.

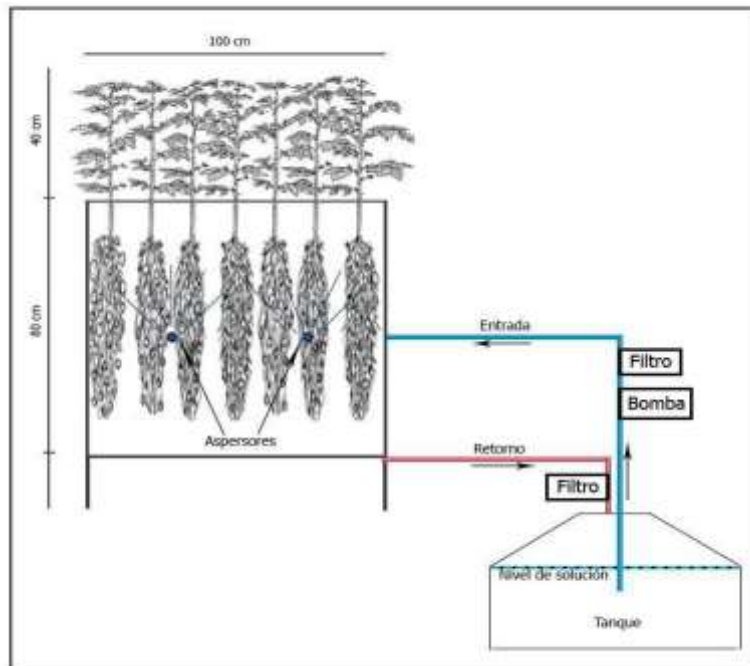


Figura No. 4. Representación gráfica de sistema aeropónico utilizado en el ensayo. Fuente: adaptado de Otazú (2010).

El sistema de riego era abastecido de un tanque de 1000 l en el cual se preparaba la solución nutritiva con agua de Obras Sanitarias del Estado (OSE) como solvente.

Dentro de la cámara oscura se colocaron dos líneas de riego con microaspersores cada 25 cm. Cada mesa se conectó con un canal de retorno para recoger la solución nutritiva sobrante en un tanque de 300 l, reciclando de esta forma la misma.

El sistema era alimentado por una bomba que se encendía durante un minuto y permanecía nueve minutos apagada, manteniendo esta frecuencia de riego de 7:00 a 19:00 hs mientras que el resto del día se encendía durante un minuto y permanencia cincuenta y nueve minutos apagada.

Se realizaron mediciones diarias de pH y conductividad eléctrica de la solución, los valores para ambos parámetros se ubicaron dentro de 3,64 - 6,8 y 1,02 - 4,6 respectivamente.

3.4. SISTEMA DE CONDUCCIÓN

Las plantas fueron conducidas utilizando una malla de nylon a medida que iban creciendo, y se agregaba un nivel de malla siempre que el nuevo crecimiento lo demandara.

La malla se sostuvo a la mesa mediante tutores colocados en las esquinas y lados de la mesa, evitando el vuelco de plantas que acumulaban área foliar.



Vista superior (izq.) y lateral (der.).

Figura No. 5. Mallas de conducción de plantas.

3.5. MICROPROPAGACIÓN DE PLANTINES

La multiplicación de esquejes de cultivar Chieftain se realizó a partir de plantas “in vitro” adquiridas en el laboratorio de Biotecnología de INIA Las Brujas. De este material se cortaron esquejes uninodales y fueron colocados en cajas plásticas transparentes con turba como sustrato.

Las cajas se acondicionaron en cámara de crecimiento con temperatura controlada (26°C) y fotoperíodo de dieciséis horas de luz. Se colocaron en estanterías bajo tubos fluorescentes a una intensidad de 7.000 lx. El riego de las mismas se realizó a demanda con una solución de sales de hidroponía (Evans y Nason, 1953).

A los quince días las plantas fueron cortadas en segmentos uninodales y colocados en cajas según provenían de ápices o segmentos intermedios, ya que estas últimas tienen un desarrollo más lento.

Veinte días antes de la plantación, se realizó el último corte exclusivamente con ápices, para obtener las plantas para llevar al invernáculo. Por último, tres días antes de la plantación se llevaron al invernáculo para su aclimatación.

3.6. SOLUCIÓN NUTRITIVA

La solución utilizada para nutrir las plantas se modificó a lo largo del ciclo en función de los requerimientos de las mismas. Durante los primeros cuarenta días se utilizó una solución compuesta por: K 234 ppm; N 171 ppm; Ca 144 ppm; S 27 ppm; Mg 48 ppm; P 31 ppm; Fe 10 ppm; Mn 0,5 ppm; B 0,2 ppm; Zn 0,175 ppm; y Cu 0,1 ppm. Mientras que en el resto del ciclo se utilizó una solución con 40 ppm menos de N, 60 ppm más de K y urea en ocasiones que el cultivo demandó nitrógeno (N) adicional.

Además del aporte nutricional brindado a las plantas a través del sistema de aspersión, se complementa la nutrición con la aplicación de fertilizantes foliares. En la misma se utilizaron: Foliar NPK (12-8-5) + micro nutrientes, sulfato Mg, sulfato Zn, Fertiactyl GZ, Solutek micro y Fetrilon combi.



Líneas de microaspersores (arriba izq.); conexión de caños madre con líneas de microaspersores (arriba der.); extremo inferior de las mesas con canal de reciclaje y caño madre (abajo izq.); unión de canal de reciclaje con tanque de solución nutritiva (abajo der.).

Figura No. 6. Sistemas de distribución y reciclaje de solución nutritiva.

En el armado de las mesas, se dejó una pendiente entre el 1 y 1.5 % para favorecer el escurrimiento de la solución nutritiva al canal recolector, permitiéndose así reciclar y volver a utilizar la misma.

3.7. MANEJO FITOSANITARIO

Previo a la instalación del experimento se realizaron las desinfecciones dentro del invernáculo con fungicidas e insecticidas, así como también durante el desarrollo del cultivo (Anexo No. 1).

3.8. COSECHA Y ALMACENAMIENTO

El criterio de cosecha considerado para comenzar fue el tamaño de los minitubérculos, cuando estos alcanzaban un peso de 10 g (2cm diámetro) eran removidos de la planta.

La cosecha se realizó de manera manual cada diez días aproximadamente, y los minitubérculos eran almacenados en bolsas de malla extruidas que contenían doscientas unidades. Posteriormente eran trasladadas a una cámara refrigerada a 2-4 °C para su conservación.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA ESTACIÓN DE CRECIMIENTO

Si bien la producción en invernáculo permite controlar en cierta medida las condiciones de temperatura, radiación y humedad en las cuales crecen los cultivos, cuando en el exterior del mismo se dan condiciones ambientales extremas, se hace difícil mantener las mismas dentro de los niveles óptimos y al mismo tiempo obtener buenos rendimientos.

El experimento se desarrolló desde mediados del mes de marzo hasta mediados del mes de junio de 2015. Se tomó registro de la temperatura dentro del invernáculo en distintos momentos del día. Para caracterizar este periodo, se utilizó la información climática de la estación experimental Las Brujas, ubicada a 16 km de distancia. Las temperaturas medias y máximas registradas en ese año fueron superiores en comparación con las registradas en el periodo 1985-2015 (Cuadro No. 1). Esto ocasionó que el experimento se realizara en un año en el cual las temperaturas fueron superiores a las que normalmente se dan en nuestra ubicación.

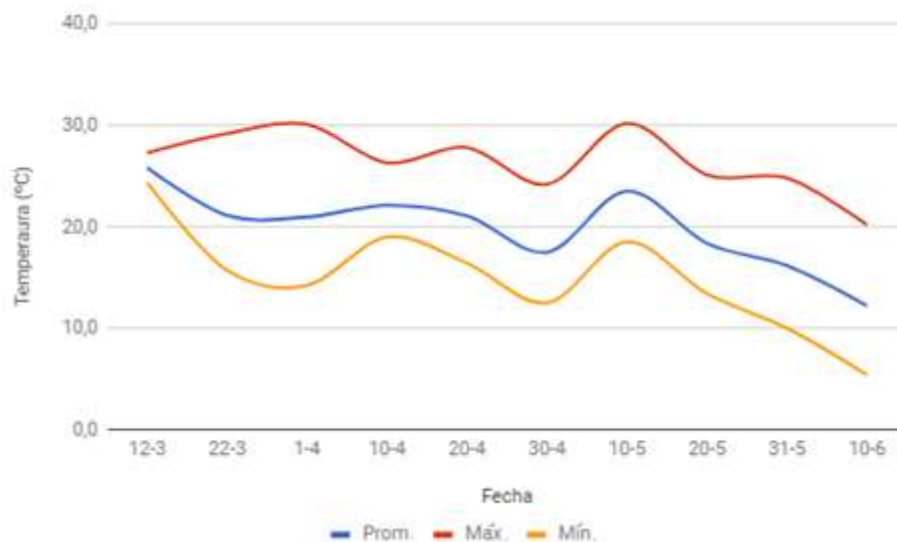


Figura No. 7. Evolución de temperatura máxima, media y mínima durante el ciclo de cultivo en intervalos de diez días.

En esta gráfica se observa cómo evolucionaron las temperaturas mínimas, máximas y medias dentro del invernáculo durante el ciclo de producción. Aproximadamente a los setenta días desde trasplante se observó un pico de temperaturas que superó los 30 °C. Estas condiciones afectan la tuberización, independientemente del largo del fotoperíodo, disminuyendo la

partición de asimilados destinados a los tubérculos y aumentando la misma a otras partes de la planta (Ewing y Struik, 1992).

Cuadro No. 1. Evolución de temperatura máxima, media y mínima mensual durante el ciclo de cultivo en 2015 y entre los años 1985- 2015.

Mes	Temperaturas 2015 (°C)			Temperaturas serie histórica 1985 -2015 (°C)		
	T. máx.	T. mín.	T. media	T. máx.	T. mín.	T. media
Marzo	27,4	15,42	20,94	26,12	15,41	20,42
Abril	25,48	11,87	18,09	22,48	12,01	16,89
Mayo	21,28	9,67	14,97	18,73	8,83	13,44
Junio	17,84	5,8	11,65	15,92	6,28	10,77

Fuente: INIA (2015).

Los rangos óptimos de pH para condiciones de aeroponía reportados por Orbay et al. (2015) son entre 5 y 6, mientras que la CE entre 2.2 y 2.1 dS · m-1 según Calori et al. (2017). En el experimento los valores de pH se encontraron en un rango de 3,6 - 6,8 con un promedio de 5,2 y la CE entre 1,02 - 4,6 con un promedio de 1,8 dS · m-1, probablemente variaciones de estos parámetros en ciertos momentos, por encima o por debajo de los rangos óptimos, hayan afectado de manera negativa la absorción de nutrientes (Otazú, 2010).

4.2. CRECIMIENTO VEGETATIVO DE LAS PLANTAS EN AEROPONÍA

El experimento se desarrolló en noventa y cinco días a partir del momento de trasplante. Luego del día veintidós se observó que todas las plantas habían comenzado la tuberización, independientemente de la densidad, al igual que lo reportado por Abdullateef et al. (2012). Que no se hayan observado diferencias en el momento de inicio de tuberización entre las densidades utilizadas, probablemente se deba a que no existió competencia entre plantas hasta ese momento en las distintas densidades.

La cosecha de tubérculos superiores a 10 g comenzó a partir del día cuarenta y seis después del trasplante. Se realizaron en total seis cosechas con intervalos entre las mismas que variaron entre siete y doce días. La cosecha finalizó el día noventa y seis con la sexta colecta.

La altura de las plantas es un factor de manejo que puede generar inconvenientes a la hora de conducir las, debido al excesivo desarrollo vegetativo que alcanzan algunas variedades de papa. En este experimento se condujeron las plantas con mallas cada 15 cm de altura y fueron colocados tres niveles. La altura de las plantas no fue un factor de manejo que generó mayores problemas. La altura máxima promedio se observó en la densidad 42 plantas/m². No se observaron diferencias significativas entre las densidades para esta variable.

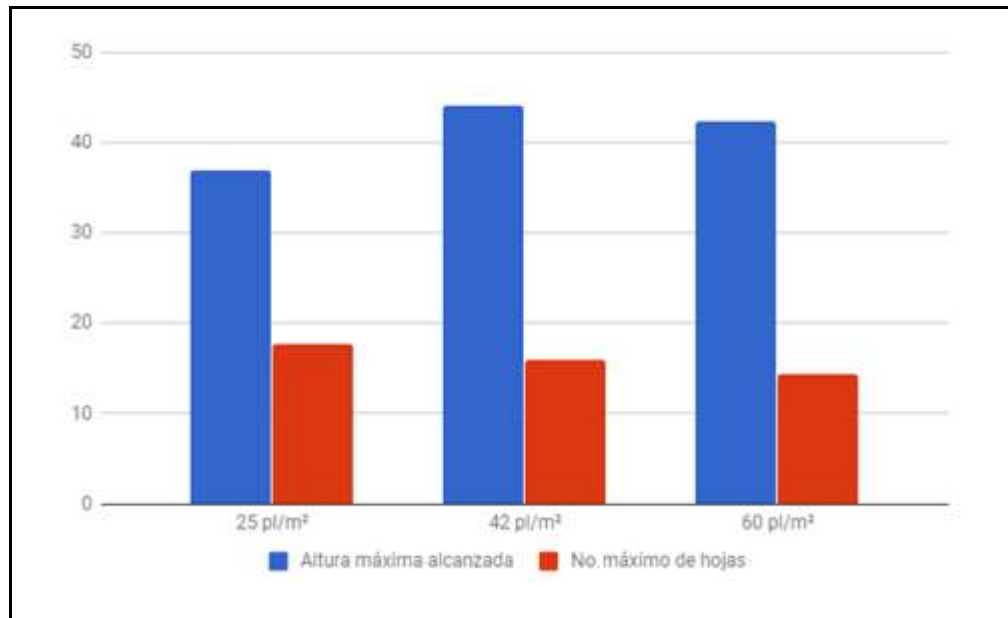


Figura No. 8. Altura del tallo principal (cm) y número de hojas por planta según densidad

A pesar de que la altura no fue una variable significativamente afectada por la densidad, en este gráfico se observa que esta aumenta con el incremento de la densidad. Contrariamente se puede ver que el número de hojas disminuye al aumentar la densidad. Si se relacionan estos dos factores, posiblemente el aumento de densidad generó una mayor competencia por la luz, lo que favoreció la elongación del tallo sobre la formación de hojas. Gardner et al. (1990) afirmaron que lo anterior es ocasionado posiblemente por una interacción hormonal, ya que en condiciones de sombra el ácido indolacético se incrementa y actúa sinérgicamente con las giberelinas, lo que provoca elongación celular.

Cuadro No. 2. Crecimiento foliar según densidad.

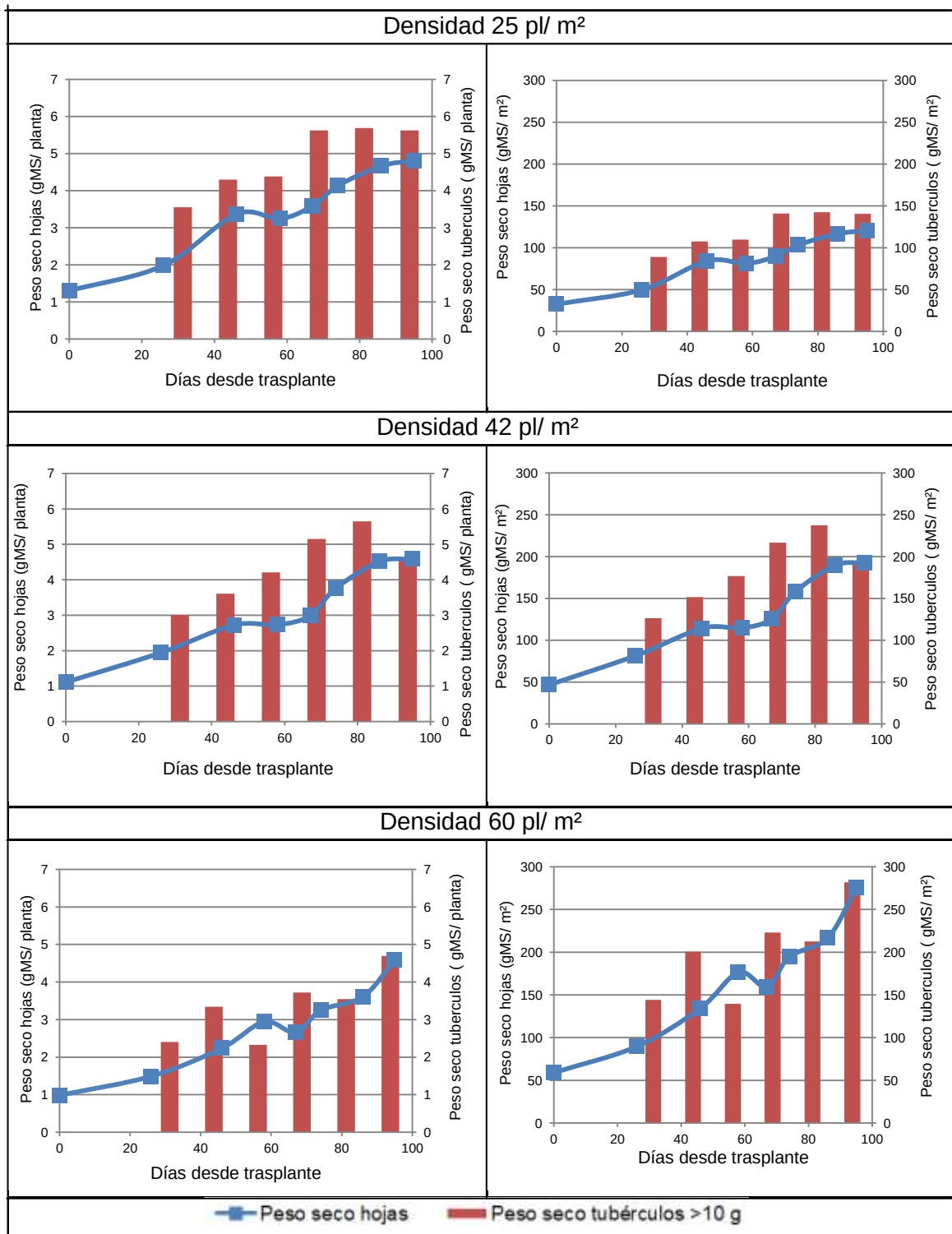
Densidad (plantas/m ²)	Hojas / planta		IAF 86 ddt** (m ² /m ²)*
	Número	Peso (gMS)	
25	17,67	5,71	3,96 b
42	16	4,78	11,52 a
60	14,41	5,04	11,77 a

*Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

** Días desde trasplante

El crecimiento foliar no presentó diferencias significativas tanto en número como en peso de hojas por planta (gMS) en los diferentes tratamientos. En cambio el índice de área foliar, evaluado a ochenta y seis días desde trasplante, fue superior en las densidades de 42 y 60 plantas/m². Lo anterior sugiere que las densidades evaluadas no afectan el crecimiento foliar por planta, pero sí se ve afectado por unidad de superficie, lo cual permite al cultivo interceptar más radiación. Valores similares de IAF fueron reportados por Flores-López et al. (2009), en altas densidades.

La densidad no afectó de manera significativa la distribución de materia seca hacia los diferentes órganos en la mayoría de los muestreos. En los primeros 3 muestreos no hubo diferencias significativas en los parámetros de crecimiento evaluados. A los 67 ddt las plantas de las densidades 1 y 2 presentaron mayor crecimiento individual. En torno a esta fecha la temperatura máxima superó los 30°C (Figura No. 7). Esto probablemente haya afectado la asimilación neta, provocando la disminución en el crecimiento total observado. Si bien se afecta el crecimiento en las 3 densidades, este descenso es mayor en la densidad 3 (Figura No. 9).



gMS/planta izquierda y gMS/m² derecha.

Figura No. 9. Evolución del crecimiento de hojas y tubérculos según densidad.

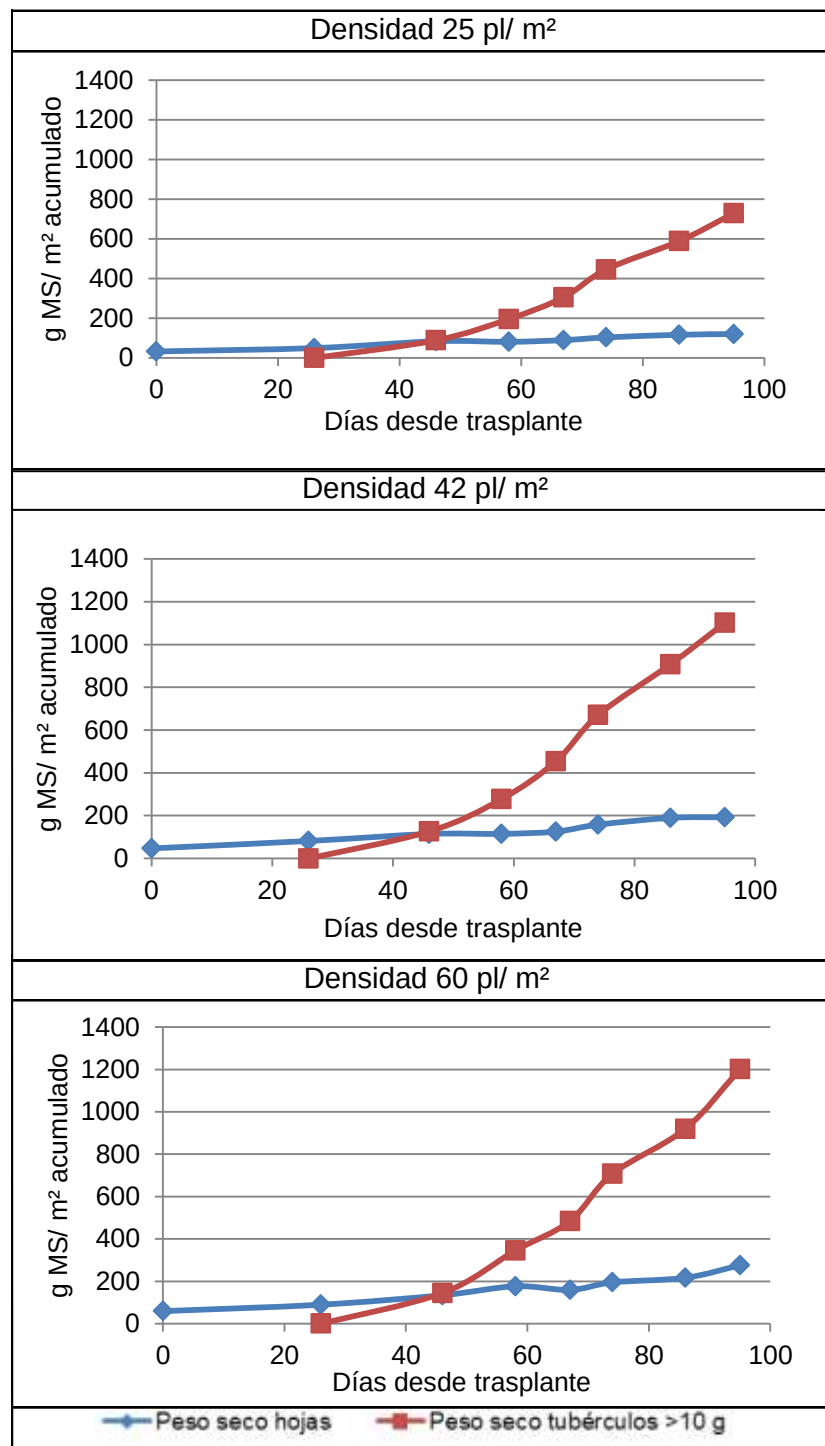


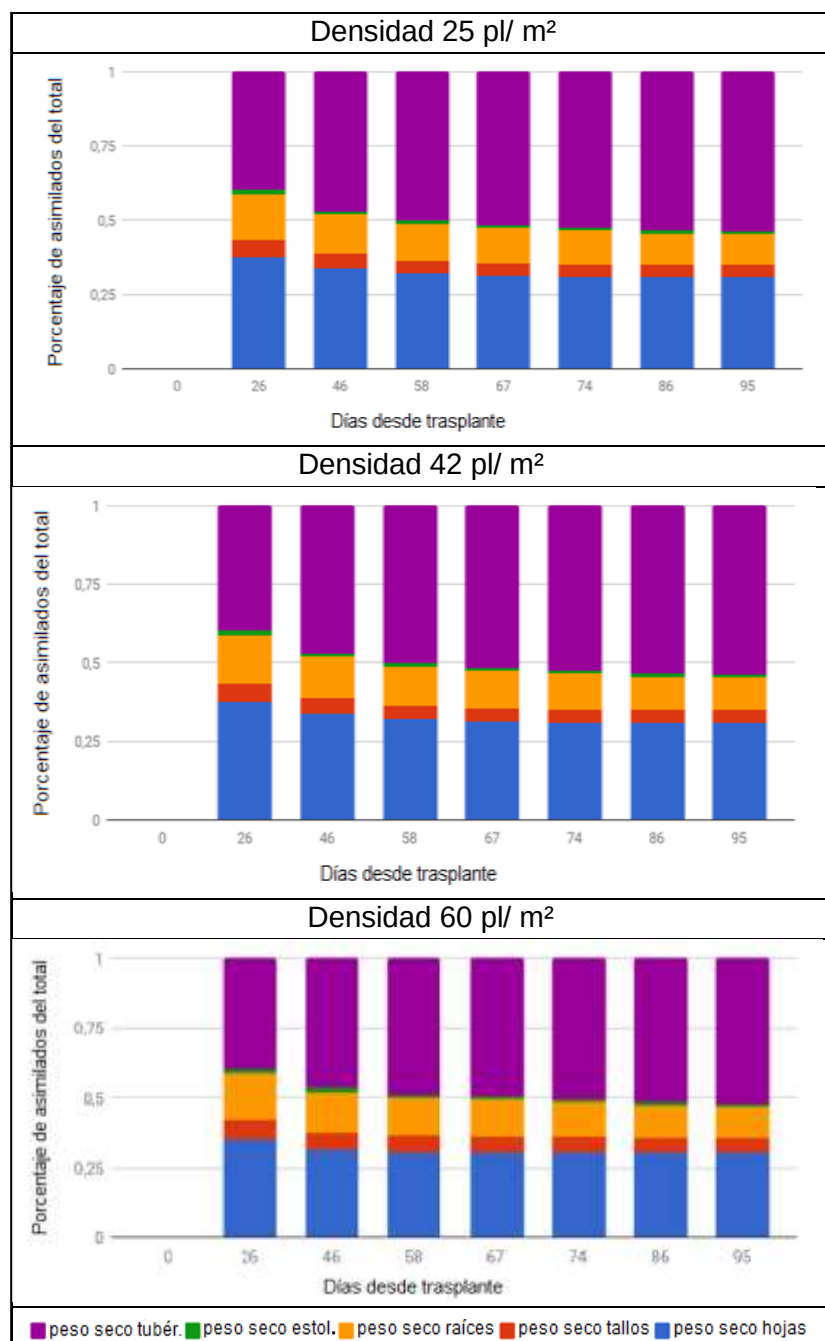
Figura No. 10. Evolución del crecimiento acumulado de hojas y tubérculos según densidad (gMS/m²).

En las densidades 25 y 42 plantas/m² se observó un descenso en el

crecimiento de hojas y tubérculos a los noventa y cinco días desde trasplante, situación que no se observó en la densidad alta. Correspondiendo también con el comienzo de la senescencia observada sólo en esas dos densidades. Flores-López et al. (2009) obtuvieron resultados similares bajo sistema hidropónico y afirmó que a menor densidad la planta acorta su ciclo de cultivo y produce más asimilados por planta que son destinados a los tubérculos.

El máximo crecimiento de los tubérculos entre dos cosechas por unidad de superficie se observó en la densidad de 60 plantas/m², a los noventa y cinco días desde trasplante. En las densidades de 25 y 42 plantas/m² el mismo se observó a los ochenta y seis días desde trasplante, y posteriormente el mismo descendió. Estos resultados concuerdan también con lo observado por Flores-López et al. (2009), quienes afirmaron que a mayor densidad la tasa de crecimiento del cultivo, así como la biomasa y número de tubérculos mayores de 10 mm por unidad de superficie se ven incrementados.

Se registró un mayor crecimiento acumulado por parte de hojas y tubérculos a baja densidad cuando se observó la planta de manera individual, mientras que por unidad de superficie el mayor crecimiento acumulado se dio en la densidad más alta (Figura No. 9).



A 25 plantas/m², B 42 plantas/m² y C 60 plantas/m²

Figura No. 11. Partición de materia seca a los órganos (gMS/m²) según densidad.

Los fotoasimilados generados durante todo el ciclo fueron mayoritariamente destinados a los tubérculos, a partir de la tercera cosecha la

mitad de los asimilados eran destinados a los mismos. La distribución de fotoasimilados a los diferentes órganos no fue afectada por la densidad.

4.3. EFECTO DE LA DENSIDAD EN EL RENDIMIENTO EN AEROPONÍA

El objetivo de este trabajo es analizar cómo la densidad afecta el rendimiento en un sistema aeropónico, para ello es necesario conocer los componentes que lo forman y cuál de ellos tiene mayor relevancia en el resultado económico.

$$\text{Rendimiento (kg.m}^{-2}\text{)} = \frac{\text{No. tubérculos/planta} * \text{peso tubérculos (g/tub.)} *}{\text{No. de plantas}}$$

El rendimiento está determinado por el número de tubérculos cosechados multiplicado por el peso de los mismos.

Dado que el peso de los tubérculos puede ser regulado con el intervalo entre cosechas, y lo ideal es cosechar lo más ajustado al criterio definido (establecido en 10g en este caso), el número de tubérculos totales es el factor de mayor importancia en la formación del rendimiento económico.

No hubo diferencias en el número de minitubérculos superiores a 10 g cosechados por planta en cada uno de los muestreos al modificar la densidad. La disminución en el número de tubérculos cosechados (>10g) a los setenta y cuatro días desde trasplante pueden deberse a que las altas temperaturas hayan afectado de manera negativa al tratamiento de alta densidad. En el muestreo anterior el número de tubérculos era similar en las tres densidades, por lo que la fuerza de fosa de los tubérculos también, sin embargo las plantas en alta densidad al presentar menos follaje presentaron una relación fuente/fosa menor, y lograron un menor número de tubérculos cosechables.

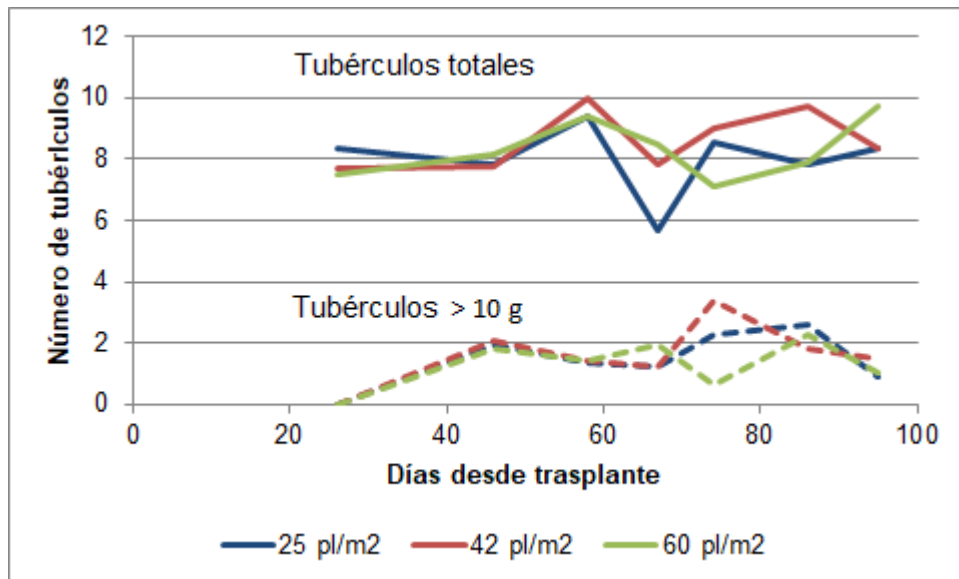


Figura No. 12. Número de minitubérculos/planta totales (líneas enteras) y mayores a 10 g (líneas punteadas) según densidad en cada cosecha.

En la última cosecha que se realizó aún quedaban minitubérculos que no alcanzaban el criterio de cosecha, y por lo tanto no formaron parte del rendimiento registrado. Esto indica que existe todavía un margen de tubérculos que, ajustando los factores de manejo que favorecen el llenado de los tubérculos o retrasen la senescencia, pueden obtenerse rendimientos superiores.

El peso promedio de los tubérculos fue menor a 60 que a 25 pl/m² (Cuadro No. 3). El peso de tubérculos varió de 12-16 g para la densidad alta, de 12 a 19 g para la densidad intermedia y 12 a 18 para la densidad baja.

Cuadro No. 3. Peso promedio de los minitubérculos según densidad

	Densidad (plantas/m ²)		
	25	42	60
Peso tub. (g)*	17,01 a	15,97 ab	14,66 b

*Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

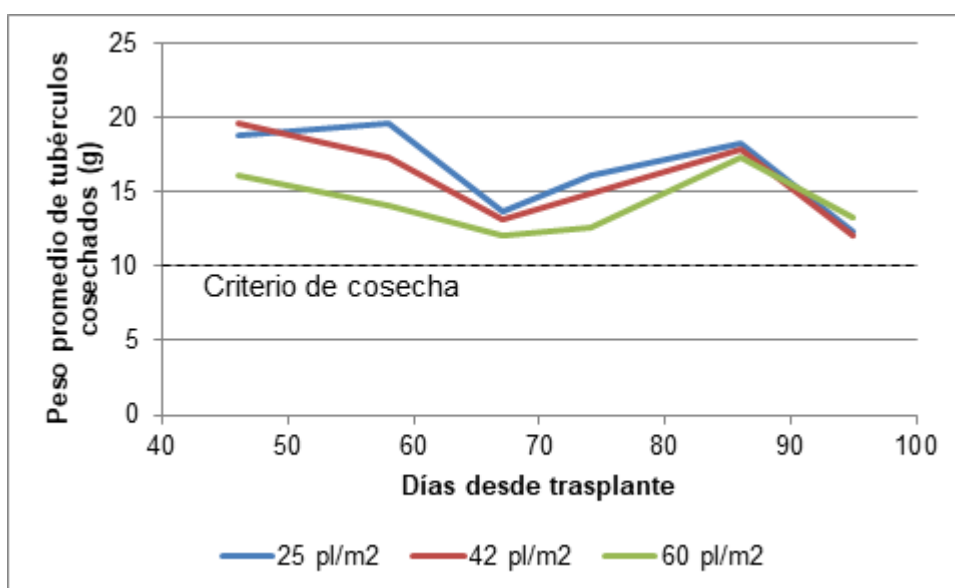


Figura No. 13. Peso promedio de un minitubérculo según densidad en cada cosecha.

Como se cosecharon las tres densidades con el mismo intervalo de cosecha, cada planta debió traslocar en un mismo periodo de tiempo los asimilados a los tubérculos en condiciones de competencia distintas. Posiblemente a 25 pl/m² la relación fuente/fosa haya sido mayor que a 60 pl/m², permitiendo que los minitubérculos logren un mayor peso en igual periodo de tiempo. Considerando que un minitubérculo de 10 g ya puede ser utilizado como semilla para su multiplicación, conviene ajustar la densidad y el intervalo de cosecha para que se extraigan minitubérculos lo más aproximado posible al criterio de cosecha establecido. Cosechando minitubérculos muy por encima de este tamaño se destinan fotoasimilados a tubérculos que podrían haber sido cosechados antes y a la vez se inhibe la formación de nuevos minitubérculos

(Tshisola, 2014). Estos resultados evidencian la necesidad de ajustar para cada densidad el intervalo de cosecha (Farran y Mingo-Castel, 2006). El intervalo de cosecha utilizado en este trabajo, se ajustó mejor a la densidad alta.

La producción acumulada de minitubérculos cosechados por planta, tanto en número como en peso, no se vio afectada por la densidad. Sin embargo, si se observa la producción obtenida por m^2 , la densidad de 25 pl/ m^2 , es estadísticamente menor que a 42 y 60 pl/ m^2 , en número y peso.

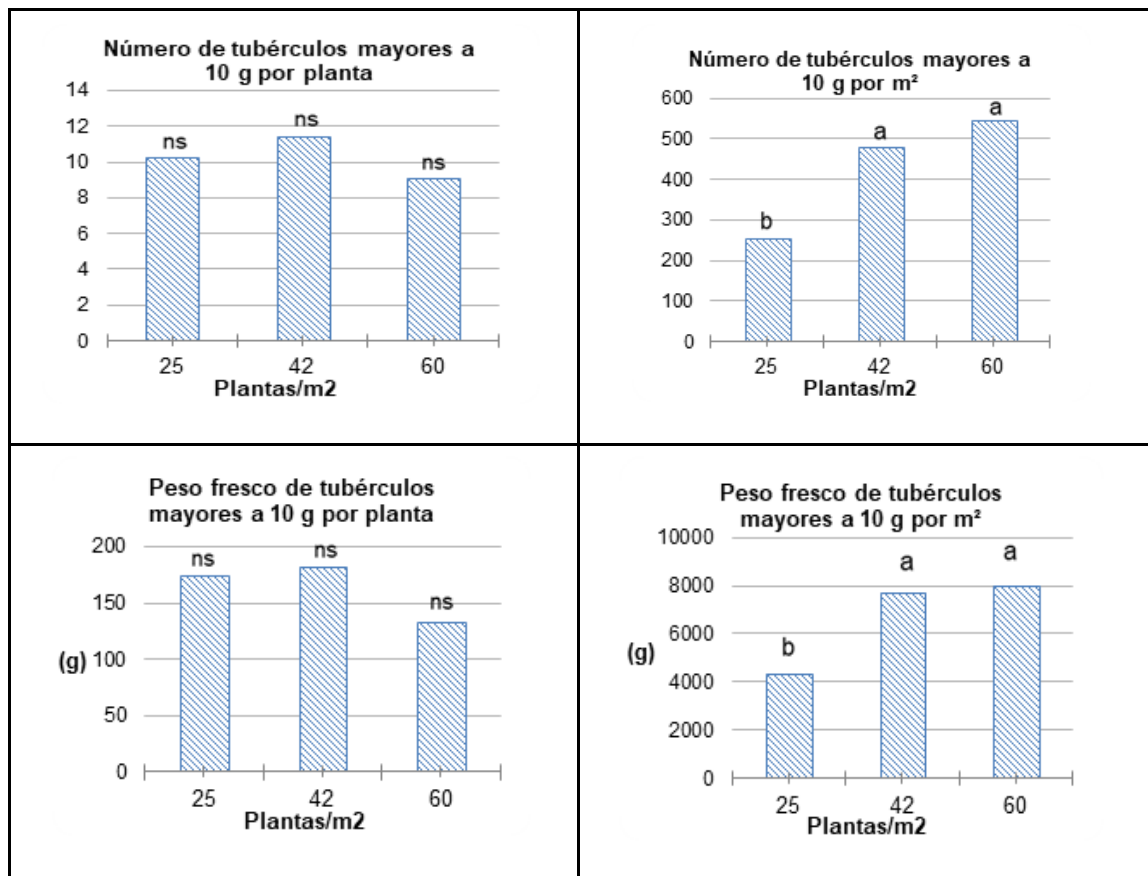


Figura No. 14. Número y peso (g) de minitubérculos mayores a 10 g por planta y por m^2 según densidad.

La productividad obtenida en este experimento fue inferior a la reportada por Farran y Mingo-Castel (2006), Abdullateef et al. (2012), Calori et al. (2017) con densidades similares y bajo aeroponía. No obstante, fue superior a la productividad que se logra alcanzar en sistemas convencionales con sustrato en Uruguay según Fernández (2001).

4.3.1. Análisis económico

La densidad afectó la producción de minitubérculos/m², siendo mayor en las densidades 42 y 60 plantas/m². La diferencia de 67 minitubérculos/m² obtenida entre estas dos densidades, a pesar de no ser significativa estadísticamente, debe ser analizada en profundidad para determinar si logra cubrir los costos que implicaría trabajar a 60 plantas/m² en vez de a 42 plantas/m².

Resultados similares fueron obtenidos por Calori et al. (2017), quienes al no hallar diferencias significativas entre 60 y 100 plantas/m² en la producción de minitubérculos/m², encontraron que a 100 plantas/m² la Tasa Interna de Retorno (TIR) era mayor, así como el periodo de recuperación de la inversión era menor, en comparación con densidades de 60 plantas/m².

Para comparar ambas densidades se cuantificaron los costos que varían al trabajar a 42 y 60 plantas/m², como: la cantidad de plantines/m², la mano de obra necesaria para trasplantar y cosechar los minitubérculos producidos.

Cuadro No. 4. Balance de costos e ingresos en producción aeropónica a 42 y 60 plantas/m²

Densidad (plantas/m ²)	Producción		Producto Bruto (U\$/m ²)	Costos variables (U\$/m ²)			
	NMP	NMm ²		P (*)	MOC	MOT	CT
25	10,15	253,8	126,9	16,9	0,43	4,35	21,68
42	11,45	480,9	240,45	27,2	0,72	7,32	35,24
60	9,12	547,2	273,6	38,8	1,04	10,44	50,28

(*) Incluye: turba, envases, mano de obra, amortizaciones, electricidad y sales. (Tipo de cambio 25 \$U/U\$S). Valor estimado de venta minitubérculo U\$S 0,5 la unidad. NMP = Número de minitubérculos por planta; NMm² = Número de minitubérculos por m²; P = Plantín; MOC= Mano de obra cosecha; MOT = Mano de obra trasplante; CT = Costo total.

En el cuadro se representa la producción de minitubérculos/m² obtenida en las dos densidades que presentaron superioridad de las tres analizadas, así como los costos que varían si se trabaja con cada una de estas densidades.

Existen otros costos que podrían cambiar si se modifica la densidad y no fueron tenidos en cuenta en este cálculo debido a la complejidad de registrarlos, como son el consumo de fertilizantes, gasto de agua, mano de obra para conducción de tallos, entre otros.

Si se planta a una densidad de 60 plantas/m², los costos variables son U\$S 15,04/m² más que a 42 plantas/m². En cambio se obtiene un mayor número de minitubérculos con la densidad alta, que equivalen a U\$S 33,15/m². De estos valores se puede concluir que plantando a 60 plantas/m² se obtienen U\$S 18,11/m² más que a 42 plantas /m².

Cabe aclarar que estos valores fueron estimados en un ciclo de cultivo en particular y los costos pueden variar año a año.

5. CONCLUSIONES

El experimento realizado permitió determinar el rendimiento logrado con tres densidades de plantas diferentes en el cultivo de papa semilla de la variedad Chieftain. La producción final de minitubérculos por planta no se vio afectada por la densidad, en cambio por unidad de superficie las densidades 42 y 60 pl/m² presentaron rendimientos más altos (7,68 kg/m² y 8,02 kg/m² respectivamente) en relación con la densidad de 25 pl/m² (4,36 kg/m²). El número de minitubérculos por m² encontrado a 25, 42 y 60 pl/m², fue de 253,8, 480,9 y 547,2 respectivamente.

El peso promedio de los minitubérculos cosechados fue menor al aumentar la densidad, igualmente este parámetro se encontró siempre por encima del criterio de cosecha. Teniendo en cuenta que a partir de los 8 g un minitubérculo puede ser utilizado comercialmente como semilla, plantar a densidades altas y regular el intervalo de cosechas, permitiría cosechar minitubérculos lo más cercano al criterio de cosecha posible y no acumular de manera innecesaria asimilados en tubérculos grandes.

Trabajando a una densidad de 60 plantas/m² no se produjeron estadísticamente más minitubérculos/m² en comparación con 42 plantas /m². Sin embargo, las diferencias encontradas a pesar de no ser significativas, generaron una producción de U\$S 18,11/m² más que si se trabaja a 42 plantas /m².

Las altas temperaturas que se dieron durante el experimento, afectaron de manera negativa el crecimiento de los tubérculos, afectando así el rendimiento obtenido. Teniendo en cuenta que este experimento se llevó a cabo durante el primer ciclo de producción de la empresa, se considera de gran importancia que se sigan investigando los diferentes factores que afectan a la producción de papa en aeroponía, como variedad; intervalo de cosechas; aspectos relacionados a la solución nutritiva; factores ambientales, como temperatura, radiación y fotoperíodo; y comportamiento de esta tecnología en las condiciones de doble cultivo al año. Adicionalmente, estudios a nivel de campo, que revelen si existen diferencias en el comportamiento productivo de minitubérculos producidos en aeroponía y en sustrato.

6. RESUMEN

La pérdida de calidad sanitaria de los tubérculos semilla, debido a la alta incidencia de enfermedades ocasionadas por virus, produce disminución del rendimiento en las multiplicaciones sucesivas y conduce a la necesidad de importar todos los años parte de la semilla necesaria para la instalación de los cultivos. En los últimos años se han desarrollado sistemas de producción de papa semilla nacional sin la utilización de suelo. El objetivo de este trabajo fue contribuir a la generación de conocimiento sobre la producción de semilla de papa de calidad bajo el método aeropónico, con la finalidad de que los sistemas sean más eficientes y que los productores puedan disponer de semilla nacional de alta calidad y bajo costo. Se analizó el efecto de tres densidades de plantación (25, 42 y 60 plantas/m²) sobre el rendimiento de semilla pre-básica de papa (*Solanum tuberosum* var. Chieftain) bajo sistema aeropónico de producción. La producción final de minitubérculos por planta no se vio afectada por la densidad, en cambio por unidad de superficie las densidades 42 y 60 pl/m² presentaron rendimientos más altos (7,68 kg/m² y 8,02 kg/m² respectivamente) en relación con la densidad de 25 pl/m² (4,36 kg/m²). El peso promedio de los minitubérculos cosechados fue menor al aumentar la densidad. Trabajando a una densidad de 60 plantas/m² no se produjeron estadísticamente más minitubérculos/m² en comparación con 42 plantas /m². Sin embargo, las diferencias encontradas a pesar de no ser significativas, generaron un ingreso de U\$S 18,11/m² más que si se trabaja a 42 plantas /m².

Palabras clave: *Solanum tuberosum*; Aeroponía; Densidad de plantación; Semilla pre-básica.

7. SUMMARY

The high incidence of virus diseases in the production of tuber seeds results in decreased yields in successive multiplications and leads to the need to import part of the seed for crops planting every year. Currently, national soilless seed potato production systems have been developed. The aim of this work was to contribute to the knowledge generation of high quality seed potato production through aeroponic system, with the objective of making systems more efficient and let farmers have national high quality and low cost seeds. It was analyzed the effect of three plant densities (25, 42 and 60 plants/m²) on yield of pre-basic potato seed (*Solanum tuberosum* var. Chieftain) through aeroponic system. Minutubers production per plant was not affected by plant density, however higher yields per unit area were obtained with 42 and 60 pl/m² (7,68 kg/m² and 8,02 kg/m² respectively) compared with 25 pl/m² (4,36 kg/m²). The average weight of the harvested minutubers was lower with increasing density. Planting 60 plants/m², had no significant differences on minutubers/m² production compared to 42 plants/m². Although not significant, this difference generated an income of U\$S 18.11/m² more than planting 42 plants/m²

Key words: *Solanum tuberosum*; Aeroponic; Plant density; Pre-basic seed potato.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Abdullateef, S.; Bohme, M. H.; Pinker, I. 2012. Potato minituber production at different plant densities using an aeroponic system. *Acta Horticulturae*. no. 927: 429-436.
2. Aldabe, L. 2001. Bases para la producción de semilla de papa. In: Aldabe, L. ed. *Producción de semilla de papa en el Uruguay*. Montevideo, Uruguay, Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. PREDEG. pp. 17-27.
3. Calori, A. H.; Factor, T. L.; Feltran, J. C.; Purquerio, L. F. V. 2014. Aeroponia pode inovar a produção de minitubérculos de batata no Estado de São Paulo. *O Agrônomo*. 64-66: 43-51.
4. _____.; _____.; _____.; Watanabe, E. Y.; Moraes, C. C.; Purquerio, L. F. V. 2017. Electrical conductivity of the nutrient solution and plant density in aeroponic production of seed potato under tropical conditions (winter/spring). *Bragantia*. 76(1): 23-32.
5. Chang, D. C.; Lee, Y. B.; Jeong, J. C. 2006. Effect of root zone cooling on growth responses and tuberization of hydroponically grown Superior potato (*Solanum tuberosum*) in summer. *Journal of Bio-Environment Control*. 15: 340-345.
6. _____.; _____.; Suh, J. T.; Kim, S. J.; Cho, I. C. 2011. Growth and yield response of three aeroponically grown potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) to different electrical conductivities of nutrient solution. *American Journal of Potato Research*. 88: 450-458.
7. Chapman, H. W. 1958. Tuberization in the potato plant. *Plant Physiology*. 11: 215-224.
8. De Los Santos, M. 2001. Uso y producción de papa semilla en el Uruguay. In: Aldabe, L. ed. *Producción de semilla de papa en el Uruguay*. Montevideo, Uruguay, Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. PREDEG. pp. 10-16.
9. Dogliotti, S.; Colnago, P.; Galván, G.; Aldabe, L. 2011. Bases fisiológicas del crecimiento y desarrollo de los principales cultivos hortícolas tomate (*Lycopersicum sculentum*), papa (*Solanum tuberosum*) y cebolla (*Allium cepa*). In: *Curso de Fisiología de los Cultivos—*

Módulo Horticultura (2011, Montevideo). Textos. Montevideo, Udelar. Facultad de Agronomía. pp. 39-57.

10. Evans H. J.; Nason, A. 1953. Pyridine nucleotide-nitrate reductase from extracts of higher Plants. *Plant Physiology*. 28:233-254.
11. Ewing, E. E.; Struik, P. C. 1992. Tuber formation in potato: induction, initiation and growth. *Horticulture Review*. American Society of Horticulture Science. 14:89-198.
12. Factor, T. L.; Araujo J. A. C.; Kawakami, F. P. C.; Lunck, V. 2007. Produção de minitubérculos básicos de batata em três sistemas hidropônicos. *Horticultura Brasileira*. 25: 082-087.
13. Farran, I.; Mingo-Castel, M. 2006. Potato minituber production using aeroponics: effect of plant density and harvesting intervals. *American Journal of Potato Research*. 83: 47-53.
14. Fernández, D. 2001. Producción de papa semilla. In: Aldabe, L. ed. Producción de semilla de papa en el Uruguay. Montevideo, Uruguay, Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. PREDEG. pp. 63-70.
15. Flores-López, R.; Sánchez-del Castillo, F.; Rodríguez-Pérez, J. E.; Colinas-León, M. T.; Mora-Aguilar, R.; Lozoya-Saldaña, H. 2009. Densidad de población en cultivo hidropónico para la producción de tubérculo-semilla de papa (*Solanum tuberosum* L.). *Revista Chapingo. Serie horticultura*. 15(3): 251-258.
16. Furlani, P. R. 1998. Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de hidroponia NFT. Instituto Agronomico Campinas. Boletín técnico no. 168. 30 p.
17. García, L. M. 2013. Evaluación técnica, económica y de sustentabilidad de dos métodos de producción de semilla pre básica de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo invernadero. Tesis de Maestría en Agricultura sustentable. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. 96 p.
18. Gardner, P. F.; Pearce, B. R.; Mitchell, L. R. 1990. *Physiology of Crop Plants*. Ames, Iowa, Iowa State University. 327 p.
19. Gregory, L. E. 1956. Some factors for tuberization in the potato plant.

American Journal of Botany. 43: 281–288.

20. Hayden, A. L.; Yokelson, T. N.; Giacomelli, G. A.; Hoffman, J. J. 2004. Aeroponics: An Alternative Production System for High-Value Root Crops. *Acta Horticulturae*. no. 629: 207-213.
21. INASE (Instituto Nacional de Semillas, UY). 2017a. Estadísticas de semillas. Importaciones 2004-2016. (en línea). Canelones. 6 p. Consultado feb. 2018. Disponible en <http://www.inase.uy/Estadistica>
22. _____. 2017b. Estándares específicos de producción. Cultivos Hortícolas. Papa. (en línea). Canelones. 10 p. Consultado feb. 2018. Disponible en <http://www.inase.uy/Certificacion/EstandaresProduccion.aspx>
23. INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, UY). 1990. Variedades, semilla y fertilización para el cultivo de papa en el noreste. Tacuarembó. 11 p.
24. _____. GRAS (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Unidad de Agro-clima y Sistemas de Información, UY). 2015. Normales climatológicas; temperatura. (en línea). Rincón del Colorado, Canelones. p. irr. Consultado jun. 2016. Disponible en <http://www.inia.uy/gras>
25. Levy, D. 1992. Potato in hot climates-could we do more?. In: *Advanced Potato Production in the Hot Climates Symposium (1992, NAHAL-oz, Israel)*. Proceedings. Gilat, Merhavim, Agricultural Research Organization. pp. 3-7.
26. _____.; Veilleux, R. E. 2007. Adaptation of Potato to High Temperatures and Salinity-A Review. *American Journal of Potato Research*. 84: 487-506.
27. Lommen, W. J. M. 1995. Basic studies on the production and performance of potato minitubers. Thesis PhD. Wageningen, The Netherlands. Wageningen Agricultural University. 181 p.
28. Medeiros, C. A. B.; Ziemer, A. H.; Daniels, J.; Pereira, A.S. 2002. Produção de sementes pré-básicas de batata em sistemas hidropônicos. *Horticultura Brasileira*. 20(1): 110-114.

29. Nichols, M. 2005. Aeroponics and potatoes. *Acta Horticulturae*. no. 670: 201-206.
30. Oliveira, C. A. S. 2000. Potato crop growth as affected by nitrogen and plant density. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 35:939-950.
31. Orbay, H.; Lachance, A.; Desjardins, Y. 2015. A low nutrient solution temperature and the application of stress treatments increase potato mini-tubers production in an aeroponic system. *American Journal of Potato Research*. 92(3):387-397.
32. Otazú, V.; Chuquillanqui, C. 2007. Producción de semilla de papa de calidad por aeroponía. In: Lafrose, C. Alternativas al uso del bromuro de metilo en la producción de semilla de papa de calidad. Lima, PE, CIP. pp. 35-45.
33. _____. 2010. Manual on quality seed potato production using aeroponics. Lima, Perú, Centro Internacional de la Papa (CIP). 44 p.
34. Relloso, J. B.; Pascualena, J.; Ritter, E. 2000. Sistema Aeropónico en la Producción de patata de siembra de categoría prebase. In Congreso Iberoamericano de Investigación y Desarrollo en Patata (1º., 2000, Vitória-Gasteiz). Libro de actas. Vitória-Gasteiz, Foral de Álava, NEIKER. pp. 285-297.
35. Ritter, E.; Angulo, B.; Riga, P.; Herrán, C.; Relloso, J.; San José, M. 2001. Comparison of Hydroponic and Aeroponic cultivation systems for the production of potato minitubers. *Potato Research*. 44: 127-135.
36. Santos, B. M.; Rodriguez, P. R. 2008. Optimum in-row distances for potato minituber production. *Hortechonology*. 18: 403-406.
37. Soffer, H.; Burger D. W. 1988. Effects of dissolved oxygen concentration in aero-hydroponics on the formation and growth of adventitious roots. 113: 218-221.
38. Struik, P. C.; Lommen, W. L. M. 1990. Production, storage and use of micro-and minitubers. In: Triennial Conference European Association for Potato Research (11th., 1990, Edinburgh). Proceedings. Wageningen. EAPR. pp. 122-133.
39. _____.; Wiersema, G. S. 1999. Seed Potato Technology.

Wageningen, The Netherlands, Wageningen Academic Publishers.
355 p.

- 40._____. 2007. Response of the potato plant to temperature. In: Vreugdenhil, D. ed. Potato biology and biotechnology: advances and perspectives. Wageningen, The Netherlands, Elsevier. pp. 367-391.
- 41.Tessema, L.; Chindi, A.; Giorgis, G.; Solomon, A.; Shunka, E.; Seid, E. 2017. Determination of Nutrient Solutions for Potato (*Solanum tuberosum* L.) Seed Production under Aeroponics Production System. Open Agriculture. 2(1): 155-159.
- 42.Tierno, R.; Carrasco, A.; Ritter, E.; Ruiz de Galarreta J.I. 2014. Differential growth response and minituber production of three potato cultivars under aeroponics and greenhouse bed culture. American Journal of Potato Research. 91(4): 346–353.
- 43.Tshisola, S. N. 2014. Improved potato (*Solanum tuberosum* L.) seed production through aeroponics. Thesis Master of Science in Agriculture (Agronomy). Stellenbosch, SouthAfrica. Stellenbosch University. Faculty of AgriSciences. 146 p.
- 44.Vandam J.; Kooman, P. L., Struik, P. C. 1996. Effects of temperature and photoperiod on early growth and final number of tubers in potato (*Solanum tuberosum* L.). Potato Research. 39(1): 51-62.
- 45.Wang, F. 2008. The importance of quality potato seed in increasing potato production in Asia and the pacific region. In: Workshop to Commemorate the International Year of Potato (2008, Bangkok, Thailand). Proceedings. Banglamphu, Bangkok, Thailand, Minas K. Papademetriou. pp. 46-54.
- 46.Wheeler, R. M.; Mackowiak, C. L.; Sager, J. C.; Knott, W. M.; Hinkle, C. R. 1990. Potato growth and yield using nutrient film technique (NFT). American Potato Journal. 67(3):177-187.

9. ANEXOS

Anexo No. 1. Productos fitosanitarios utilizados en el cultivo.

Principio activo	Nombre comercial	Dosis
15 días desde trasplante		
Clorotalonil	Cibranil	2,5 cc/l
tiametoxan + lambda cialotrina	Uppercut	0,3 cc/l
21 días desde trasplante		
Clorotalonil	Cibranil	2,5 cc/l
tiametoxan + lambda cialotrina	Uppercut	0,3 cc/l
Azoxystrobin	Quadris	0,4 cc/l
28 días desde trasplante		
Clorotalonil	Cibranil	2,5 cc/l
tiametoxan + lambda cialotrina	Uppercut	0,3 cc/l
Azoxystrobin	Quadris	0,4 cc/l
36 días desde trasplante		
Clorpirifos	Pyriban	1 cc/l
Chlorantraniliprole	Rhino	1 g/10l
tiametoxan + lambda cialotrina	Uppercut	0,3 cc/l
41 días desde trasplante		
Clorotalonil	Cibranil	3 cc/l
Azoxystrobin	Quadris	0,5 cc/l
Cimoxanilo	Cymox	1,5 cc/l

abamectina	Abamectina	0,5 cc/l
46 días desde trasplante		
abamectina	Abamectina	0,5 cc/l
aceite vegetal	Naturoleo	0,5 cc/l
	Kelpak (Auxina)	3 cc/l
49 días desde trasplante		
tiametoxan + lambda cialotrina	Uppercut	0,3 cc/l
clorpirifos	Pyriban	1 cc/l
58 días desde trasplante		
clorotalonil	Cibranil	2,5 cc/l
clorpirifos	Pyriban	1 cc/l
tiametoxan + lambda cialotrina	Uppercut	0,3 cc/l
84 días desde trasplante		
clorotalonil	Cibranil	4,28 cc/l
azoxystrobin	Quadris	0,71 cc/l
clorpirifos	Pyriban	1,42 cc/l
tiametoxan + lambda cialotrina	Uppercut	0,5 cc/l
aceite vegetal	Naturoleo	0,71 cc/l

Anexo No. 2. Evolución de temperatura máxima, media y mínima durante el ciclo de cultivo en intervalos de 10 días.

Mes	Días	Temperaturas 2015 (°C) invernáculo		
		T. media	T. máxima	T. mínima
Marzo	12-21	25,8	27,3	24,4
	22-31	21,1	29,2	15,7
Abril	1-10	21,0	30,1	14,2
	11-20	22,1	26,3	19
	21-30	21,1	27,8	16,4
Mayo	1-10	17,5	24,2	12,5
	11-20	23,5	30,2	18,5
	21-31	18,4	25,1	13,4
Junio	1-10	16,2	24,8	10,0
	11-20	12,2	20,20	5,4