BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓMOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

MAESTRIA EN CIENCIAS EN RECURSOS FITOGENÉTICOS POTENCIALES PARA LA AGRICULTURA

DESARROLLO Y RENDIMIENTO DE PAPA COMO RESPUESTA A LA PODA DE ESTOLONES EN CONDICIONES DE AEROPONÍA

TESIS DE MAESTRÍA

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN RECURSOS FITOGENÉTICOS POTENCIALES PARA LA AGRICULTURA

PRESENTA

BELEM ESMERALDA NOLASCO PÉREZ

DIRECTOR

DR. SIGFRIDO DAVID MORALES FERNÁNDEZ

San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México. marzo del 2024.

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓMOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

MAESTRIA EN CIENCIAS EN RECURSOS FITOGENÉTICOS POTENCIALES PARA LA AGRICULTURA

DESARROLLO Y RENDIMIENTO DE PAPA COMO RESPUESTA A LA PODA DE ESTOLONES EN CONDICIONES DE AEROPONÍA

TESIS DE MAESTRÍA

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA EN CIENCIAS EN RECURSOS FITOGENÉTICOS POTENCIALES PARA LA AGRICULTURA

PRESENTA

BELEM ESMERALDA NOLASCO PÉREZ

DIRECTOR

DR. SIGFRIDO DAVID MORALES FERNÁNDEZ

ASESORES

DR. ARMANDO IBÁÑEZ MARTÍNEZ

M.C. FABIEL VÁZQUEZ CRUZ

San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México. marzo del 2024.

La presente tesis titulada: **Desarrollo y Rendimiento de Papa como Respuesta a la Poda de Estolones en Condiciones de Aeroponía**, realizada por **Belem Esmeralda Nolasco Pérez**, ha sido revisada y aprobada por el siguiente consejo particular, para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS EN RECURSOS FITOGENÉTICOS POTENCIALES PARA LA AGRICULTURA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

Consejo Particular integrado por:	Firma
Director: Dr. Sigfrido David Morales Fernández	
Asesor: Dr. Armando Ibáñez Martínez	
Asesor: M. C. Fabiel Vázquez Cruz	

El presente trabajo forma parte del Cuerpo Académico denominado: **BUAP CA-313-Manejo Integral de Cultivos Agrícolas** y de la Línea de investigación Cambios Fisiológicos, Fisicoquímicos y Bioquímicos en el Manejo de Cultivos y Productos Hortofrutícolas de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias. Dicho trabajo, fue financiado con recursos de la Dirección Global de Desarrollo Tecnológico del Grupo BIMBO a través del convenio de colaboración firmado por la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias, así como recursos del CONAHCYT.

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla por las facilidades otorgadas en la continua búsqueda de mi formación profesional y poder así culminar con mis estudios de posgrado en esta máxima casa de estudios.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el financiamiento otorgado para mis estudios de Maestría en Ciencias Recursos Fitogenéticos Potenciales para la Agricultura.

A mi director de tesis por compartir conmigo su conocimiento y enriquecer mi trabajo con sus acertadas sugerencias y consejos, por su dedicación y esmero, para hacer de mí una mejor alumna, por su apoyo y comprensión, y sobre todo por su sincera amistad.

DEDICATORIA

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS iv
ÍNDICE DE FIGURAS v
RESUMEN vi
ABSTRAC vii
I. INTRODUCCIÓN 1
II. OBJETIVOS 2
2.1 Objetivo general 2
2.2 Objetivos específicos 2
III. HIPÓTESIS 2
IV. REVISIÓN DE LITERATURA 2
4.1 Origen 2
4.2 Distribución 3
4.3 Importancia del cultivo 4
4.4 Taxonomía 5
4.5 Requerimientos climáticos 6
4.6 Crecimiento y desarrollo 6
4.6.1 Etapas fenológicas. 9
4.6.2 Producción de estolones. 10
4.7 Técnicas modernas de producción de papa 10
4.7.1 Hidroponía 10
4.7.2 Acuaponía 11
4.7.3 Aeroponía 11
4.7.3.1 Historia 12
4.7.3.2 Importancia de la aeroponía en cultivos de hortalizas 12
4.7.3.3 Tipos de aeroponía 13
4.7.3.4 Ventajas y desventajas 14
4.7.3.5 Componentes del sistema 14

4.7.3.5.1 Nebulizadores 14
4.7.3.5.2 Tamaño de gota 14
4.7.3.5.3 Bomba de alta presión 14
4.7.3.5.4 Medidor de pH 15
4.7.3.5.5 Luz y temperatura 15
4.7.3.5.6 Conductividad eléctrica(CE) 15
4.7.3.5.7 Frecuencia de nebulización y depósito de nutrientes 15
4.7.4 Manejo 15
4.7.4.1 Solución nutritiva 16
4.7.4.2 Poda 16
4.8 Producción de papa 16
4.9 Variedades 18
4.10 Rendimiento y sus componentes 18
4.11 Investigaciones orientadas a la producción de papa en aeroponía 19
V. MATERIALES Y MÉTODOS 20
5.1 Localización del sitio experimental 20
5.2 Material vegetativo 21
5.3 Módulo aeropónico 21
5.4 Sistema de riego 21
5.5 Monitoreo de parámetros agroclimáticos y del agua 22
5.6 Establecimiento del cultivo 22
5.7 Diseño experimental 22
5.8 Variables a evaluar 23
5.9 Análisis estadístico 24
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 25
6.1 Temperatura 25
6.1.1 Temperaturas del aire 25
6.1.2 Temperatura de la hoja 26
6.2 Humedad relativa 27
6.3 Lux 28

6.4. Análisis individuales 29
6.4.1 Ciclo 2022 ..... **¡Error! Marcador no definido.**
6.4.1.1 Análisis de varianza. 29
6.4.1.2 Comparacion multiple de medias. 30
6.4.2. Ciclo 2023 ..... **¡Error! Marcador no definido.**
6.4.2.1Análisis de varianza. 34
6.4.2.2. Comparación múltiple de medias 35
6.5 Análisis combinado 39
6.5.1 Análisis de varianza. 39
6.5.2 Comparación múltiple de medias. 40
VII. CONCLUSIONES 45
VIII. LITERATURA CITADA 47

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Concentración de elementos de solución nutritiva de CIP. 16
Cuadro 2. Tratamientos evaluados en la investigación. 23
Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza en el ciclo verano-otoño 2022 29
Cuadro 4. Análisis de factores principales en el ciclo verano otoño 2022..... 31
Cuadro 5. Análisis de interacciones dobles en el ciclo verano otoño 2022 32
Cuadro 6. Análisis de la triple interacción en el ciclo verano otoño 2022..... 33
Cuadro 7. Cuadrados medios del análisis de varianza en el ciclo primavera-verano 34
Cuadro 8. Análisis de factores principales en el ciclo primavera-verano 2023 36
Cuadro 9. Análisis de interacciones dobles en el ciclo primavera-verano 2023..... 37
Cuadro 10. Análisis de la triple interacción en el ciclo primavera-verano 2023 39
Cuadro 11. Análisis combinado de los cuadrados medios de dos ciclos de producción .. 40
Cuadro 12. Análisis combinado de cuadrados medios..... 41
Cuadro 13. Análisis combinado de tratamientos en dos ciclos de producción ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Cuadro 14. Análisis combinado de las interacciones triples..... 44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistema aeropónico para la producción de papa. 21
Figura 2. Temperatura del aire registrada durante la estación de crecimiento. 25
Figura 3. Temperatura del dosel 26
Figura 4. Humedad relativa 27
Figura 5. Lux en el interior y exterior del invernadero.. 28

RESUMEN

El sistema de producción en aeroponía en el cultivo de papa en condiciones de invernadero, se ha orientado a la obtención de mini tubérculos semilla, evaluación de densidades de plantación, variedades y estudios de calidad, los resultados obtenidos además de la mejora en la eficiencia en el uso de agua, han sido el incremento en el rendimiento y sus componentes, características que pueden ser modificadas mediante técnicas de manejo en el sistema, lo que permite obtener tubérculos de mayor calidad en comparación de los métodos tradicionales. Sin embargo, existen pocas investigaciones relacionadas sobre los efectos de la poda de estolones en el crecimiento de los tubérculos, debido a lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el desarrollo y rendimiento de dos variedades de papa como respuesta a la poda de estolones en condiciones de aeroponía. Se utilizó el diseño completamente al azar en arreglo factorial 2^3 con cinco repeticiones y los factores fueron variedades, tipo de contenedor y poda. Se evaluaron dos ciclos de producción, verano-otoño 2022 y primavera-verano 2023. Se estudiaron variables fenológicas, de rendimiento y biomasa. Los resultados obtenidos mostraron que la poda de estolones no afecta el rendimiento, pero si, el tamaño del tubérculo, el tratamiento que presentó el mejor peso promedio y mayor diámetro ecuatorial de tubérculos fue Orchestra, con soporte de unicel y poda en el ciclo 2022, en tanto que la mayor acumulación de materia seca total fue Fianna, con unicel y sin poda registrada en el ciclo 2023. En general, el efecto de la poda de estolones repercutió en el número de tubérculos por planta, diámetros y peso promedio de tubérculos.

Palabras clave: *Solanum tuberosum* L., fenología, peso de tubérculos, biomasa.

ABSTRAC

The aeroponic production system for the crop potatoes in greenhouse conditions, it has been oriented to get mini-tuber seed, evaluation of densities the planting, varieties and quality studies, the results obtained in addition to the improvement in water use efficiency, has been the increase in the output and your components, characteristics that can be modified through management techniques in the system, as allow to get tubers that more quality than in comparation the methods traditional. However, there exist few research related about the effects of pruning the stolons in growth of the tubers, due to the above the present assignment had as objective assess of development and yield of two varieties of potatoes as answer of pruning the stolons in conditions aeroponics. It was used completely randomized design in factorial arrangement 2^3 with five repetitions and the factors was varieties, type of container and pruning. It was evaluations two production cycle, summer-fall 2022 and spring-summer 2023. It was studied phenological, yield and biomass variable. The results obtained showed that pruning of stolons don´t affect the yield, but if, the size of tubers, that treatment that presented the best average weight and bigger equatorial diameter of tubers was Orchestra with styrofoam support and pruning in the cycle 2022, in so far as the best accumulation of dry material total it was Fianna with styrofoam and don´t pruning registered in the cycle 2023. In general, the pruning effect of stolons had an impact in number of tubers per plant, diameters y average weight tubers.

I. INTRODUCCIÓN

La especie *Solanum tuberosum* L. tiene gran importancia en la alimentación mundial (García *et al*., 2021), puesto que se encuentra dentro de los primeros cinco cultivos más consumidos (Chappa, 2021). En México la producción de papa genera gran cantidad de empleos de forma directa e indirecta por lo que se considera de importancia social, además del valor agregado que genera (Mejía & Castellanos, 2018). Los bajos rendimientos de la producción de papa a cielo abierto, principalmente, se deben a la mala calidad de la semilla tubérculo, suelos pobres de nutrientes, problemas de plagas y enfermedades, y a la escases de agua. Una estrategia para producir mayor rendimiento y calidad de tubérculo es mediante el cultivo en sistema aeropónico (García *et al*., 2021).

De acuerdo con Andrade-Piedra (2015) un sistema aeropónico es aquel que carece de un sustrato sólido, es decir, el sistema radicular se mantiene suspendido en un módulo, envuelto en una neblina de agua y solución nutritiva. En este sistema, el proceso de tuberización de la papa es regulado por diversos factores, como la temperatura en la zona radicular, el pH, el nivel hídrico y la condición nutrimental, lo que afecta la cantidad y calidad de tubérculo semilla (Wang, 2008). Asimismo, y a diferencia de la producción bajo un sistema convencional, en el sistema aeropónico se presenta un mayor desarrollo de estolones y por lo tanto mayor producción de minitubérculos, al ser un sistema más eficiente en la absorción de los elementos esenciales (Tiwari *et al*., 2020). En algunos trabajos de investigación se han reportado hasta tres veces más producción de papa en aeroponía con respecto a un sistema convencional (Çalışkan *et al*., 2021; Huera, 2016), así como 4.4 veces mayor rendimiento que en sustratos sólidos, encontrando una alta asociación entre el número de minitubérculos y de estolones en el orden de hasta 2.4 veces más que en condiciones de suelo (García *et al*., 2021), aunque estas variaciones pueden ser debidas al efecto ambiental y a la genética de las variedades (Quispe *et al*., 2017).

La técnica de aeroponía permite producir semilla tubérculo de papa en grandes cantidades, a menor costo y en mejores condiciones de sanidad, además permite realizar ciertas modificaciones en el módulo en el que se desarrolla el sistema radicular de las plantas, lo que facilita el estudio morfológico, sanitario y de factores que influyen en la producción (Andrade-Piedra *et al*., 2015). Las investigaciones de producción de papa en aeroponía han

sido enfocadas, principalmente a la producción de semilla minitubérculo, no obstante, estudios sobre producción comercial de tubérculos de papa > 51 g son escasos, por lo anterior, el propósito de la presente investigación fue evaluar la producción comercial en dos variedades de papa como respuesta a la poda de estolones en condiciones de aeroponía.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Evaluar el desarrollo y rendimiento de dos variedades de papa como respuesta a la poda de estolones en condiciones de aeroponía.

2.2 Objetivos específicos

Determinar la ocurrencia de las etapas de estoloneo, tuberización y madurez fisiológica en las variedades Fianna y Orchestra en condiciones de invernadero.

Determinar el rendimiento de papa, peso promedio y número de tubérculos por planta en las variedades Fianna y Orchestra en condiciones de invernadero.

III. HIPÓTESIS

La poda de estolones en las plantas de papa producidas en condiciones de aeroponía, mejora la calidad y el rendimiento del tubérculo.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Origen

El origen evolutivo de la papa cultivada presenta diferentes hipótesis, que genetistas, arqueobotánicos y taxónomos han explorado durante casi nueve décadas sin ser concluyente (Spooner *et al*., 2014).

De todas las especies cultivadas, el grupo *Solanum tuberosum* Chilotanum (2n = 4x = 48) es el que más ha contribuido al efecto fundador del acervo genético europeo y norteamericano y al mejoramiento global de los cultivos. Según Berg y Groendijk-Wilders (2014), más del 99 % de los cultivares modernos existentes en Europa poseen citoplasma

chileno. Sin embargo, el nivel de diversidad intraespecífica dentro del grupo *Solanum tuberosum* Chilotanum es modesto en comparación con el grupo *Andigenum*. Su rango de distribución contemporáneo está básicamente restringido a la isla de Chiloé, en el centro-sur de Chile (Contreras & Castro, 2008; Manzur, 2012). Comúnmente se plantean dos hipótesis con respecto al origen de las variedalsavilabaraades locales de Chilotanum (Spooner *et al*., 2012). El primero sugiere que se originaron de forma independiente en el sur de Chile, posiblemente involucrando al ancestro silvestre putativo *Solanum maglia* (Ugent *et al*., 1987) o híbridos de *Solanum tarijense* (*Solanum berthaultii*) (Hosaka, 2003; Spooner *et al*., 2014). El segundo sostiene un origen andino con una introducción temprana a Chile y una adaptación gradual de las variedades locales de *Andigenum* a variedades locales de Chilotanum adaptadas de día largo (Hawkes, 1990, 1994).

El grupo *S. tuberosum Andigenum* contiene más diversidad intraespecífica que todas las demás especies y el grupo *S. tuberosum* Chilotanum combinados (Ghislain *et al*., 2006; Zimmerer, 1991).

4.2 Distribución

Investigadores de diversas aéreas han estudiado la historia de la propagación de la papa desde su centro de origen al resto del mundo. Los primeros registros históricos de la introducción temprana de papas en Europa son escasos (de Haan & Rodríguez, 2016). Se ha demostrado que las primeras papas introducidas a inicios del siglo XIV son de origen andino; la introducción desde Chile ocurrió más tarde en 1811, 34 años antes de las epidemias europeas de tizón tardío (*Phytophtora infestans*) (Ames & Spooner, 2008). Sin embargo, el primer registro escrito de papas en Europa data de 1567. El documento es un registro de un embarque de tubérculos de Gran Canaria con destino a Bélgica (Ríos *et al*., 2007; Spooner *et al*., 2005). Hawkes y Francisco-Ortega (1993) especularon que las papas se introdujeron en las Islas Canarias en 1562.

Once años más tarde, en 1573, se reportaron papas en la España (Hawkes & Francisco-Ortega, 1992). El segundo registro de un cargamento de papas de Canarias con destino a Francia fue en 1574 (Ríos *et al*., 2007).

Según Salaman (1985), las papas fueron introducidas en Inglaterra por Sir Francis Drake alrededor de 1586, en la India por marineros portugueses a principios del siglo XVII,

y casi al mismo tiempo en Sri Lanka por los británicos (Graves, 2001; Nunn & Qian, 2008). Los británicos llevaron papas a las Bermudas alrededor de 1613 y de allí a Virginia (Estados Unidos) en 1621 (Graves, 2001). La papa llegó a Irlanda a finales del siglo XVI (Salaman & Burton, 1985). Según los informes, en 1603, los colonos holandeses llevaron papas a las islas Penghu en el estrecho de Taiwán. Alrededor de ese mismo período, hacia el final de la dinastía Ming, el cultivo también se extendió rápidamente por toda China. En general, se acepta que las papas fueron introducidas por primera vez en Nueva Zelanda a fines del siglo XVIII por el capitán James Cook y el explorador francés Marion du Fresne (Harris & Niha, 1999). La introducción de la papa en África se produjo por los colonos y misioneros alemanes e ingleses en el siglo XIX (Kiple & Ornelas, 2000).

Se estima que en América Latina las papas silvestres superan las 200 especies, es una especie adaptable comprendiendo tres zonas de cultivo, la primera corresponde a las partes altas donde destaca el suroeste de Estados Unidos y Centro América, la segunda corresponde a alturas medias que comprende desde Sudamérica en los Andes hasta Venezuela y el noroeste de Argentina y por último se tienen las zonas bajas donde se encuentran dispersas en el sureste de Brasil, Paraguay, Argentina, Uruguay y Chile (Hawkes, 1994). Rodríguez (2015) reportó que, en México, se cultivan alrededor de 28 especies de papa, y su distribución se concentra en los estados de Jalisco, Michoacán, Querétaro, Hidalgo, México, Puebla y Distrito Federal, en altitudes que van de los 1500 a 3500 msnm, con la característica de estar ubicadas geográficamente sobre el eje neo volcánico transversal.

4.3 Importancia del cultivo

A nivel mundial, la especie *Solanum tuberosum* L. está situada entre los primeros tres cultivos producidos para la alimentación mundial, sólo superada por *Oryza sativa* (arroz) y el *Tritricum* (trigo) (Hancock *et al*., 2014).

La producción de papa en el mundo aumentó de 270 millones de toneladas en 1961 a 370 millones de toneladas en 2019. El aumento en la producción se debe principalmente a un aumento constante en el potencial de rendimiento de los cultivares de papa, ya que el área cosechada para la producción de papa disminuyó de 22.14 millones de hectáreas a 17.34 millones de hectáreas en el mismo período. El potencial de rendimiento de los cultivares de papa ha aumentado un 58.7 % en el último medio siglo. China, India, Rusia, EE. UU. y

Ucrania son los principales países productores de papa, seguidos de Polonia, Alemania, Bielorrusia, Países Bajos y Francia (Nasir & Toth, 2022).

La papa se considera un cultivo importante en los países desarrollados y en desarrollo debido a su uso versátil. La biomasa consumible de la papa es 35 % más que en los cereales, los cuales son considerados los carbohidratos más importantes (Lutaladio & Castaldi, 2009).

Se considera que la ingesta por persona de este cultivo en México es de 17 kg al año, que es bajo comparado con Perú (Vázquez *et al*., 2012). Sabbagh-Sánchez *et al*. (2011), estimaron un incremento en el consumo de papa, en el orden de los 21 kg para el año 2025.

Datos presentados por la Confederación Nacional de Papa (CONPAPA, 2010), mostraron que en México se cultivan 63,893 ha de las cuales el 65 % es bajo condiciones de riego con rendimiento promedio de 29.5 $t \cdot ha^{-1}$, mientras que el 35 % restante corresponde a siembra en condiciones de temporal, donde el rendimiento promedio es 56 % menor que en riego. De la producción total (1780350 t), el 58 % es destinado al consumo en fresco, lo que da un consumo *per cápita* de 16.2 kilogramos.

4.4 Taxonomía

Actualmente, la papa cultivada es conocida comúnmente bajo el nombre de *S. tuberosum* L. pertenece a la familia Solanaceae. Es una planta herbácea, dicotiledónea, con un sistema subterráneo rizomatoso el cual produce tubérculos (Rodríguez, 2009; Tapia, 2007).

De acuerdo con Rodríguez (2009), la clasificación taxonómica de *Solanum tuberosum* L. es la siguiente:

Reino: Plantae
División: Magoliaphyta
Subdivisión: Angiosperma
Clase: Magnoliopsida
Subclase: Asteridae
Orden: Solanales
Familia: Solanaceae
Género: *Solanum*
Subgénero: Potatoe

Sección: Petota

Serie: Tuberosa

Especie: *Solanum tuberosum* L.

4.5 Requerimientos climáticos

Las papas se cultivan extensivamente en dos regiones principales. La primera zona se encuentra entre los 45° y 57° N, donde se cultiva papa como cultivo de verano; mientras que la segunda zona corresponde a las tierras bajas subtropicales entre las latitudes de 23° y 34° N, donde se cultiva papa durante el invierno. En las regiones subtropicales y tropicales, la papa se cultiva como cultivo de invierno donde las temperaturas nocturnas se mantienen por debajo de los 22 °C. Sin embargo, generalmente se requiere una temperatura por debajo de los 20 °C para la tuberización (Dutt *et al*., 2017).

La papa es un cultivo de clima fresco y no se comporta bien en altas temperaturas (Pulatov *et al*., 2015). Requiere de días soleados y noches frescas. El crecimiento vegetativo y el desarrollo del tubérculo difieren en sus requerimientos climáticos, para crecimiento vegetativo necesita temperaturas entre 16 y 25 °C, mientras que para la tuberización y llenado, requiere de 4 a 18 °C para un desarrollo óptimo (Reddy *et al*., 2018).

El cultivo no tolera cambios drásticos de temperatura en las fases fenológicas, de existir, el rendimiento se ve afectado ya que un aumento de la temperatura en la fase vegetativa causa una alta tasa de respiración, marchitamiento fisiológico, actividad fotosintética reducida y ciclo de vida más corto. Por el contrario, el aumento de la temperatura en la fase reproductiva provoca tubérculos de menor tamaño, tasa de tuberización lenta y fase reproductiva más corta lo que se refleja en un menor rendimiento de tubérculos (Hatfield & Prueger, 2015).

Por otro lado, una disminución de la temperatura (< 0 °C) en la etapa de brotación puede dañar la plántula, alterar el movimiento y absorción del agua y nutrientes en la planta (Liao *et al*., 2016), y no tolera temperaturas ≤ 3 °C, causando la pérdida total del cultivo en cualquier etapa (Pino *et al*., 2007).

4.6 Crecimiento y desarrollo

El carácter genético es un factor que influye en el crecimiento y desarrollo de los cultivos, así como las condiciones ambientales, todo organismo vivo se desarrolla mejor bajo

ciertas condiciones interrelacionadas como la temperatura, humedad y luz (Thamburaj & Singh, 2001).

La papa es un cultivo de duración corta, de acuerdo con su índice de cosecha se clasifican en variedades tempranas (75 - 90 días), medias (90 - 100) y tardías (100 - 110 días), en general requiere de 350 a 550 mm de agua para su desarrollo dependiendo del clima, el tipo de suelo y variedad. (Reddy *et al*., 2018). Se dice que es de crecimiento indeterminado, ya que su follaje continúa creciendo aun después de la floración y la formación de tubérculos (Sun *et al*., 2015).

De la fase de emergencia a formación de tubérculo requiere fotoperiodos cortos, así como una temperatura nocturna fresca y suministro limitado de agua (Sandhu *et al*., 2018).

La floración se da bajo condiciones específicas (días largos y baja temperatura), la formación óptima de tubérculos requiere temperatura de 20 °C, superiores a 21 °C provocan reducción en el rendimiento de los tubérculos, así mismo temperatura por encima de 30 °C inhibe la formación de tubérculos, valores extremos de temperatura provocan una reducción en el índice de área foliar, área foliar específica, tamaño y número de hojas y desarrollo del dosel, un aumento o disminución en la ramificación lateral y la altura de la planta, y una disminución en el número y tamaño de los tubérculos debido a la alteración de los procesos de desarrollo, bioquímicos y fisiológicos que conlleva a una reducción del rendimiento (Dutt *et al*., 2017; Hancock *et al*., 2014; Peng *et al*., 2021; Thamburaj & Singh, 2001).

De acuerdo con Sandhu *et al*. (2018), el crecimiento de la papa no es posible por debajo de los 2 °C ni por encima de los 30 °C, indicaron que los valores críticos para la fotosíntesis neta de la papa son de máxima (40 °C), óptimas (16 - 25 °C) y mínimas (0 - 7 °C), por otro lado, Fleisher *et al*. (2017) reportaron que la temperatura óptima para la fotosíntesis y acumulación de biomasa en la papa es de 20 °C. Además, valores de 13 °C de temperatura media diaria podrían ser considerados como óptimos (Dahal *et al*., 2019). Un aumento de 5 °C por encima de la temperatura óptima provoca una reducción de la tasa fotosintética en un 25 %, afectando la acumulación de biomasa (Fahad *et al*., 2017).

Se ha observado que la formación de tubérculos se presenta entre los 20 y 25 días después de la siembra con variantes en el color de la floración, debido a efectos de la variedad y condiciones climáticas (Reddy *et al*., 2018; Watanabe, 2015).

Las altas temperaturas durante el llenado del tubérculo provocan desequilibrios en la relación fuente demanda (redistribución de fotoasimilados), necrosis y malformación de los tubérculos (Peng *et al*., 2021). Además, la temperatura del suelo en el que se cultiva la papa afecta la emergencia de brotes, la formación de estolones, tuberización y volumen, lo que en última instancia reduce el rendimiento del tubérculo (Ávila-Valdés *et al*., 2020; Lizana *et al*., 2017; Obiero *et al*., 2019).

Según Lizana *et al*. (2017), el rendimiento en papa depende del volumen del tubérculo, el cual se define en la última etapa de crecimiento. Para que se exprese el máximo potencial del rendimiento se requiere de condiciones específicas de temperatura y suministro hídrico, si no se dan estos requerimientos hay una reducción en volumen como consecuencia la inhibición del transporte de fotoasimilados a los estolones que son el conducto de llegada del tubérculo en desarrollo (Ávila-Valdés *et al*., 2020; duttfact *et al*., 2019). De acuerdo con Obiero *et al*. (2019), las altas temperaturas afectan la materia seca de toda la planta, y en particular el rendimiento, ya que la presencia de 30 °C de temperatura antes y después de la iniciación del tubérculo produjeron tubérculos 45 % más pequeños en comparación con aquellos desarrollados a 22 °C. Así mismo, se ha observado que un incremento en la temperatura por encima del óptimo, los fotoasimilados se translocan fuera del tubérculo (Lal *et al*., 2022).

La temperatura promedio óptima requerida para el crecimiento de raíces, tubérculos y estolones varía con las etapas de crecimiento de la planta (Dutt *et al*., 2017). La raíz es el primer órgano que detecta condiciones de deficiencia de agua y responde en consecuencia basándose en fenómenos fisiológicos, bioquímicos y moleculares. La arquitectura del sistema radicular y su morfología en la papa se ven significativamente afectados por el estrés por calor y sequía. El estrés por alta temperatura (33 °C) también retrasa la iniciación de raíces adventicias en papa. Las condiciones de deficiencia de agua afectan la morfología del sistema radicular de la papa al aumentar la proliferación de raíces laterales, el grosor de la raíz, la inhibición del alargamiento de la raíz y el aumento de la formación de pelo radicular (Robine *et al*., 2008).

El fotoperíodo es un factor que afecta las etapas de desarrollo de la papa. Para la iniciación del tubérculo se requieren fotoperíodos cortos (10 - 12 h) y fotoperíodos largos (14

- 18 h) promueven el desarrollo de estolones y frenan la tuberización. Además, existen estudios de que el fotoperíodo tiene poco o ningún efecto después de la iniciación del tubérculo (Quispe, 2021).

Cualquier desbalance en las primeras etapas disminuye la asimilación de carbono, reduce la fotosíntesis y afecta la tuberización, el aumento de volumen y la producción final de tubérculos (Ávila-Valdés *et al*., 2020).

Debido a que la papa tiene su origen en las colinas de los Andes, esta desarrolló la capacidad de tuberizar en rangos de temperatura entre 14 a 22 °C. No obstante, la formación de tubérculos quedó limitada a los 14 y 22 °C, y se aceleró en condiciones de días cortos (Abelenda *et al*., 2014). Rykaczewska (2013) indicó que hay un mayor crecimiento de los brotes con un mayor consumo de asimilados a altas temperaturas y, en consecuencia, el rendimiento de los tubérculos es afectado drásticamente. Todos estos factores son características particulares de los cultivares de papa, algunos son fisiológicamente más eficientes, capaces de una tuberización temprana (incluso a temperaturas relativamente altas y fotoperíodos prolongados) y una mayor tasa de translocación de fotoasimilados a los tubérculos en desarrollo (Lal *et al*., 2022).

4.6.1 Etapas fenológicas. Villordon *et al*. (2009), mediante modelos predictivos en papa dulce (*Ipomea batatas*) pudieron determinar la relación entre cosecha y los grados día (°D), esta metodología permite determinar las fases fenológicas.

A partir del método residual clásico y considerando como temperatura base de 6 ºC, Morales-Fernández *et al*. (2018) identificaron cuatro fases fenológicas, emergencia (EM), inicio de estoloneo (IE), inicio de tuberización o crecimiento del tubérculo (TB) y madurez fisiológica (MT) y a su vez definieron tres etapas, la vegetativa (VE) que va de EM a IE, caracterizada por el crecimiento en la parte vegetativa aérea y sistema radical subterráneo; reproductiva inicial (ER) que va de IE a TB, definida por el desarrollo y crecimiento de estolones y reproductiva final (RF) que va de TB a MT, definida por el crecimiento o llenado del tubérculo.

4.6.2 Producción de estolones. En general, el sistema de producción de papa en aeroponía ha registrado el inicio de desarrollo de los estolones entre los 30 y 40 días después del trasplante. Con la finalidad de inducir un mayor número de estolones e incrementar el número de tubérculos se realiza un técnica denominada aporque-hundimiento (proceso de bajado de tallos), en la cual se remueven las hojas inferiores y se introduce una porción del tallo con las hojas inferiores removidas, cuidando que con esta actividad el soporte de la planta no se mueva provocando entrada de luz al interior del módulo (Benítez & Montesdeoca, 2015).

En otros estudios, García *et al.* (2021) mencionan que la mayor producción de estolones en aeroponía se debe a las condiciones de humedad y oscuridad que se presentan en la parte basal del tallo, esto induce una mayor síntesis de hormonas (ácido giberélico, el ácido abscísico y el ácido indolacético), las cuales estimulan su desarrollo produciendo un mayor número de minitubérculos.

4.7 Técnicas modernas de producción de papa

La escasez de recursos, la disminución de la tierra fértil, la degradación del suelo, la falta de suministro de agua dulce para sembrar y el empobrecimiento de los nutrientes del suelo, representan un panorama negativo para la producción de especies vegetales (Klinger & Naylor, 2012). Para mitigar tales desafíos, diversos estudios muestran que los sistemas de producción sin suelo pueden ser una solución. El cultivo sin suelo se basa en la premisa de no utilizar éste como método de enraizamiento donde el suministro de agua de riego permite a las raíces absorber nutrientes inorgánicos, estos sistemas han sido adaptados a diferentes hortalizas (Waiba *et al*., 2020). Se refiere el término de "cultivo sin suelo" para describir a todas las técnicas de manejo que no requieren suelo, y en la que se incluyen a la hidroponía, aeroponía y acuaponía (Savvas *et al*., 2013).

4.7.1 Hidroponía. Es la técnica de producción de hortalizas en la que los vegetales crecen sin suelo, y este, es sustituido por un medio de cultivo inerte como las rocas o la fibra de coco, turba, y vermiculita. En esta técnica, el riego permite el suministro de la solución nutritiva que contiene una mezcla de macro y micronutrientes (Waiba *et al*., 2020).

Entre las ventajas de la hidroponía, se tiene el aumento de las densidades de plantación, lo que significa más producción en menor superficie, crecimiento homogéneo por el suministro

constante de nutrientes y la eficiencia en el uso del agua que es del 80 % con respecto a los cultivos en suelo (AlShrouf, 2017; Jones *et al*., 1991; Waiba *et al*., 2020).

4.7.2 Acuaponía. Esta técnica combina la producción de especies olerícolas y animales acuáticos como caracoles, peces, cangrejos de río y gambas. Se usan tanques de agua con recirculación como soporte para el cultivo y el propósito es la producción de peces y vegetales en un entorno simbiótico. Para ello, se requiere de la adaptación de un sistema de bombeo para la recirculación del agua de la pecera a las plantas. La nutrición tiene como base los excrementos de los animales ya que son ricos en amoníaco y nitrato resultado de la acción bacterial (Waiba *et al*., 2020). Aunque a escala comercial y bajo producción intensiva, en esta técnica la producción de especies olerícolas puede ser prioridad como ocurre en Israel, India, China y África (Singh & Singh, 2012).

4.7.3 Aeroponía. Es la técnica de producción cuyo principio básico es el cultivo sin suelo o medios agregados, el objetivo es simular un ambiente de neblina para el desarrollo y crecimiento de la raíz. La palabra aeroponía se deriva de los significados latinos de 'aero' (aire) y 'ponic' (trabajo) (Farran & Mingo-Castel, 2006).

Se caracteriza por ser un sistema de producción en un medio con aire humedecido mediante nebulización, sin el uso de suelo ni otro tipo de sustrato, es un sistema cerrado, consta de una cámara sellada con una cubierta de poliestireno u otro material que sirve como depósito para la solución nutritiva, en esta cámara, la raíz se mantiene suspendida en el aire, para esto, las plantas requieren apoyarse o colgarse a través de orificios en la cubierta expandida o placa y se rocían con solución nutritiva para mantener la raíz hidratada, esto se logra con nebulización a ciertos intervalos de tiempo, algunas investigaciones refieren lapsos de unos segundos cada dos minutos, por lo que se requiere de una bomba con temporizador (Buckseth et al., 2016; Burrage, 1998; Waiba *et al*., 2020). El sistema aeropónico complementado con el cultivo de tejidos vegetales, promete un gran potencial para transformar la producción de semilla tubérculo de papa en los países en desarrollo (Chiipanthenga et al., 2012).

4.7.3.1 Historia. El cultivo sin suelo tiene como primer caso documentado las pinturas murales encontradas en el templo de Deirel Bahari donde se utilizaron contenedores (Naville, 1894). En 1942, W. Carter fue un pionero en la investigación enfocada al cultivo en aire y describió el método de cultivo por medio de vapor de agua facilitando el estudio de las raíces. Más tarde en 1944, L. J. Klotz fue el primero en descubrir plantas de cítricos nebulizadas con vapor, lo que facilitaba el estudio de enfermedades a nivel de raíz, ocho años después, G. F. Trowel consideró el principio de cultivos por aspersión para cultivar manzanos, y quince años después de las investigaciones de Carter (1942) y Went (1957), se denominó "aeroponía" al proceso de crecimiento de las plantas en el aire por una técnica de aspersión dirigida a la raíz. El primer sistema de producción aeropónica fue desarrollado por el Dr. Franco Mazzantini en la Universidad de Pía (Italia), lo que le permitió crear las denominadas "columnas de cultivo" (Salazar, 2021). Sin embargo, el primer modelo de aeroponía a escala comercial fue el Sistema de enraizamiento Génesis, comúnmente llamado Máquina Génesis, en 1983, un dispositivo controlado por un microchip que se conectaba a una fuente de energía eléctrica y a un grifo de agua. Kim *et al*. (1999) indicaron que la producción de tubérculos semilla de papa bajo el sistema de aeroponía fue un existo, y en 2006, se le consideró a ésta técnica como un método de producción de cultivos extensivo en el mundo (Gopinath *et al*., 2017).

4.7.3.2 Importancia de la aeroponía en cultivos olerícolas. La aeroponía es un sistema que no daña a la planta, proporciona un control del ambiente en la cámara de crecimiento del sistema radicular, eficiencia en el uso de agua de hasta el 90 % mediante la recirculación de la solución nutritiva, optimiza la aireación de la raíz ya que la planta al estar totalmente suspendida en el aire, la zona radicular tiene acceso al 100 % del oxígeno disponible en la cámara de crecimiento, así como a las concentraciones de CO_2, que pueden ubicarse en el rango de las 450 a 780 ppm para la fotosíntesis, lo que hace que el crecimiento de las raíces sea más rápido y uniforme. Además, bajo esta técnica, el uso de pesticidas y fertilizantes se reducen de manera significativa en comparación con la agricultura convencional, produciendo alimentos inocuos (Farran & Mingo-Castel, 2006; Lakkireddy *et al*., 2012; Mithunesh *et al*., 2015; Ritter *et al*., 2001).

El uso de aeroponía en especies propagadas por clonación, ha permitido una mejora en el crecimiento de las raíces, tasa de supervivencia, tasa de crecimiento y en el tiempo de maduración (Stoner & Schorr, 1983). Bajo esta técnica, una planta de papa puede producir más de 100 minitubérculos (Otazú, 2010), a diferencia del método convencional que produce aproximadamente ocho tubérculos por ciclo y de cinco a seis tubérculos por planta usando suelo en condiciones de invernadero (Hussey & Stacey, 1981).

El sistema de aeroponía permite la medición de la absorción de nutrientes a lo largo del ciclo de cultivo (Christie & Nichols, 2003). Barak *et al*., (1996) determinaron las tasas de absorción de agua y de nutrientes bajo este sistema en arándano. Stoner & Schorr (1983) indican que en aeroponía se eficientizan los espacios de producción a diferencia de otras técnicas como la hidroponía y el sistema convencional, ya que en esta técnica se aprovecha mejor el espacio vertical para el desarrollo de raíces y tubérculos.

***4*.7.3.3 Tipos de aeroponía.** Salazar (2021) propone una clasificación que se basa en la presión de los aspersores de agua, dando como resultado tres tipos: presión baja, alta y ultrasónica. La primera es la más común y es conocida como "soakaponics", ya que requiere un caudal simple con el fin de generar un riego por goteo gravimétrico, lo que se logra con una bomba de agua de baja potencia y aspersores con tamaño de gota grande y de tamaño irregular. El tiempo de funcionamiento puede ser de 24 horas. Esta técnica suele usarse a escala no comercial (Sánchez, 2019).

La técnica a alta presión es la más eficiente, requiere un caudal preponderante para llegar a la nebulización de la solución nutritiva, operan con agua a alta presión (usando otro tipo de bombas), lo que permite que el agua salga por los aspersores en forma de gotas microscópicas, haciendo que el oxígeno entre con mayor facilidad a las raíces, por medio de gotas de la solución de 50 micrones o menos debido a la bomba de mayor presión (Salazar, 2021; Sánchez, 2019).

La aeroponía por nebulizador ultrasónico es la de mayor especialización ya que requiere que los nebulizadores atomicen el agua simulando una neblina por lo que la gota debe ser muy pequeña. Sin embargo, se requiere de sistemas con mejor control en el filtrado de la solución a fin de evitar la obstrucción de los nebulizadores (Salazar, 2021).

4.7.3.4 Ventajas y desventajas. Dado que es un sistema innovador tiene ventajas contrastantes con el método convencional y otros tipos de sistemas, las más importantes son excelente oxigenación que se proporciona al sistema radicular (Lakkireddy *et al*., 2012; Martínez *et al*., 2000), recirculación de la solución nutritiva y adaptación a sistemas de cultivo vertical, remoción rápida de plantas en caso de enfermedad (Lakhiar *et al*., 2018), mejor control en el tamaño del tubérculo al monitorear su crecimiento durante la cosecha (Ritter *et al*., 2001) y un mejor control en el manejo de los nutrientes y el pH (Nichols, 2005).

Entre los principales inconvenientes que presentan los sistemas aeropónicos tradicionales además del costo elevado de la instalación, es la obstrucción de las boquillas nebulizadoras de la solución nutritiva, que puede producirse por falta de presión suficiente y una instalación adecuada (Martínez *et al*., 2000).

4.7.3.5 Componentes del sistema

4.7.3.5.1 Nebulizadores. La atomización se logra bombeando agua a través de rociadores a alta presión. En un sistema aeropónico se requiere de rociadores que proporcionen un tamaño de gota pequeño, amplia cobertura y soporte de la presión, es recomendable el uso de rociadores que proporcionen gotas de 10 a 100 µm (Gopinath *et al*., 2017).

4.7.3.5.2 Tamaño de gota. El rango de tamaño de gota ideal para la mayoría de las plantas es de 20 a 100 micras. Dentro de este rango, las gotas más pequeñas saturan el aire, manteniendo los niveles de humedad dentro de la cámara de crecimiento. Las gotas más grandes, de 30 a 100 micrones, producen un mayor contacto con las raíces. Las gotas con menos de 30 micrones tienden a permanecer en el aire en forma de niebla, mientras que las gotas de más de 100 micrones caen antes de contactar a la raíz. Una gota de agua demasiado grande significa que hay menos oxígeno disponible para el sistema radicular (Gopinath *et al*., 2017).

4.7.3.5.3 Bomba de alta presión. La aeroponía de alta presión requiere una bomba que pueda producir lo suficiente para presurizar el agua, se busca producir el tamaño ideal de gota la cual va de 20 a 100 micrones. Estas bombas son generalmente de diafragma o de ósmosis inversa. La bomba debe producir 80 libras por pulgada cuadrada (PSI) de presión constante con el flujo de nutrientes requerido (Gopinath *et al*., 2017).

4.7.3.5.4 Medidor de pH. Algunas investigaciones mencionan la importancia de contar con un equipo para monitoreo de pH y que permita mantener los valores en el rango de 5.8 a 6.5, que son los recomendados para el óptimo desarrollo de las plantas, ya que permiten una adecuada absorción de nutrientes, en particular, papa en aeroponía requiere valores de 5.0 y 6.0 (Gopinath *et al*., 2017).

4.7.3.5.5 Luz y temperatura. El reemplazo de la luz solar es esencial, puede ser substituida por tubos fluorescentes con intensidades de 15000 a 20000 lux para crecimiento vegetativo y 35000 a 40000 lux para floración y fructificación, con temperaturas óptimas de 15 a 25 ° C (Otazú, 2010).

4.7.3.5.6 Conductividad eléctrica(CE). Estudios hechos por Gopinath *et al*. (2017) indican que el valor óptimo de CE para el cultivo de papa en aeroponía es 2 $cm \cdot mS^{-1}$

4.7.3.5.7 Frecuencia de nebulización y depósito de nutrientes. Se utilizan dos tipos de frecuencias, las continuas y las intermitentes. La intermitente permite el ahorro de energía, debido a los periodos cortos en los que la bomba se mantiene en funcionamiento, este ahorro es una característica importante en sistemas que utilizan bombas de gran potencia. Algunas investigaciones mencionan como regla general un ciclo de 1 a 2 minutos de rocío seguido de 5 minutos de descanso, lo que permite que el sistema de raíces no se deshidrate (Gopinath *et al*., 2017), aunque Farran y Mingo (2006) recomiendan 10 segundos de riego a intervalos de 20 minutos.

4.7.4 Manejo. El establecimiento en el módulo se hace por medio de plántulas en macetas de celosía o en esquejes, las macetas de celosía ayudan en el desarrollo del sistema radicular. Se ha observado una alta tasa de éxito en el establecimiento con esquejes, este método es ampliamente recomendado para especies de plantas difíciles de propagar, pues los altos niveles de oxígeno y humedad en un ambiente húmedo evitan la desecación y acelera la formación de raíces, una vez que la planta se adapta al sistema (Gopinath *et al*., 2017).

Debido a que en aeroponía la planta se mantiene sus pendida en el aire debe de utilizarse un contenedor donde la raíz pueda tener las condiciones ambientales adecuadas, ya que estas condiciones le permitirán a la planta una mejor asimilación de los nutrientes. La nutrición se suministra en un circuito cerrado limitando el consumo de agua de acuerdo a las exigencias de la planta (Gopinath *et al*., 2017).

4.7.4.1 Solución nutritiva. De acuerdo con Benítez *et al*. (2015), la solución nutritiva óptima para el cultivo de papa en un sistema aeropónico es la propuesta por el Centro Internacional de la Papa (CIP), la cual se presenta en el cuadro 1.

Cuadro 1. Concentración de elementos de solución nutritiva del CIP-Lima.

Solución Nutritiva		$mg \cdot L^{-1}$ (ppm)											
		N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	S	Fe	Mn	B	Cu	Zn	Mo
CIP-Lima	Inicial	191	82	245	210	71	76	1.1	0.40	1.20	0.04	0.23	0.04
	Final	155	96	373	210	110	88	1.1	0.40	0.20	0.05	0.24	0.05

4.7.4.2 Poda. En el manejo de la producción de semilla de papa en aeroponía, se realizan dos tipos de poda una para controlar la altura de la planta y otra para eliminar tejido vegetal viejo o enfermo (Andrade-Piedra *et al*., 2015).

La primera poda consiste en el corte de brotes apicales y se realiza al inicio de la tuberización. La poda reduce el tamaño de la planta (lo que facilita su manejo) sin disminuir significativamente la producción de minitubérculos. Este manejo se debe considerar dependiendo de las variedades ya que algunas no desarrollan follaje abundante.

El segundo tipo de poda consiste en el corte de brotes laterales y hojas enfermas. Se realiza en cualquier momento del crecimiento vegetativo y cuando es necesario eliminar hojas enfermas. Se recomienda en variedades que desarrollan follaje abundante, a fin de asegurar una buena ventilación entre la tapa del módulo y el follaje. En este caso, se deben remover los tallos laterales y las hojas inferiores (Andrade-Piedra *et al*., 2015).

4.8 Producción de papa

Christie y Nichols (2004), utilizaron la aeroponía para producir en masa semillas tubérculo de papa para siembra altamente saludables y también para producir papas gourmet tempranas (nuevas). Cuando se examina el crecimiento y desarrollo temprano del cultivo de papa en hidroponía, queda claro que el sistema de raíces se desarrolla antes que los estolones que producen los tubérculos. La clave para la producción de tubérculos en aeroponía está en controlar la iniciación de los tubérculos (tuberización). Esto se puede lograr usando un sistema de riego intermitente o estresando temporalmente la planta. Una de las ventajas del

sistema es que es posible la producción sincronizada de tubérculos, lo que permite producir una gran cantidad de éstos relativamente uniformes al mismo tiempo.

Otros estudios han demostrado que el rendimiento medio de tubérculos bajo aeroponía es mejor que cuando se produce el mismo material bajo técnicas convencionales (Otazú, 2010; Tsoka *et al*., 2008). Dichos resultados muestran claramente que el sistema de aeroponía se puede usar de manera efectiva para la propagación del cultivo de papa (Fahad *et al*., 2017; Ritter *et al*., 2001).

Chang *et al*. (2012), encontraron que la interrupción del suministro de nutrientes en la etapa de crecimiento del estolón aumenta significativamente la actividad de la raíz, restringe el crecimiento del estolón y finalmente induce la iniciación del tubérculo. Por lo tanto, las condiciones de ausencia de tuberización, como altas temperaturas y cultivos tardíos, pueden ser favorecidos por el uso de esta técnica de interrupción de nutrientes, particularmente en la producción de semillas de papa en hidroponía. La aeroponía podría ser un sistema apropiado para producir minitubérculos de papa. En este sistema se pueden obtener hasta 800 minitubérculos por metro cuadrado, utilizando sólo 60 plantas por metro cuadrado con cosechas repetidas cada semana, y obtener así minitubérculos sanos, libres de infecciones y su comportamiento fisiológico en condiciones de campo es similar a los obtenidos por hidroponía (Farran & Mingo-Castel, 2006).

El CIP ha desarrollado y promovido recientemente la producción de minitubérculos basada en un sistema de aeroponía novedoso, rústico y disponible públicamente. Los resultados mostraron que este sistema es una alternativa tecnológica viable para el componente de producción de minitubérculos semilla de papa, con mejor calidad, cantidad, rendimiento y peso de tubérculo (Mateus-Rodríguez *et al*., 2011). Las plantas, una vez limpias a través del cultivo de meristemos y la inducción de la tuberización bajo el sistema aeropónico, producen rápidamente tubérculos semilla de papa de alta calidad que están libres de patógenos, lo que permite tener una mayor disponibilidad de semilla tubérculo accesible para los productores en los países en desarrollo donde la producción de papa está fuertemente influenciada por el uso de semilla tubérculo de mala calidad (Gopinath *et al*., 2017).

4.9 Variedades

La variedad, define en gran medida la producción en campo y también en aeroponía (Andrade-Piedra *et al*., 2015). México cuenta con una amplia diversidad de germoplasma. Dentro de las variedades de papa cultivadas en la república mexicana sobresalen tres grupos: genotipos provenientes de Europa, Estados Unidos de América, y los mejorados por organismos nacionales como el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). El primer grupo y el tercero cuentan con una amplia variabilidad genética a diferencia del grupo dos, sin embrago, en México las variedades criollas cuentan con un alto nivel de diversidad genética en comparación con cultivares mejorados (Onamu *et al*., 2015).

En México, para el consumo en fresco destacan las variedades: Alpha, Adora, Bintje, Cardinal, Diamante, Escord, Felsina, FL1867, Furore, Greta, Giant, Mundial, Prevalent, Procura, entre otras. En Sinaloa para el consumo en fresco desatacan las variedades: Alpha, Atlantic, FL1867, Fianna, César, Giant y Mundial, que pertenecen al grupo de cáscara lisa y de color blanco o amarillo. Mientras que para el mercado de mesa una de las variedades más utilizadas es Orchestra la cual se caracteriza por ser una variedad robusta estable y con un alto rendimiento, de ciclo temprano que es resistente al estrés, pero que es sensible a fusarium, la forma del tubérculo es redonda-ovalada, el color de piel y la pulpa es amarillo claro (Millan *et al*, 2018).

En los países andinos, el número de minitubérculos por m^2 obtenidos en aeroponía varío de 500 en Serranita a 3200 en Canchán, lo que indica la influencia del factor genético en el rendimiento (Andrade-Piedra *et al*., 2015).

4.10 Rendimiento y sus componentes

Milton & Allen (1995) mencionan que los factores importantes para la formación de tubérculos de papa son la disponibilidad de fotoasimilados y su capacidad de almacenarlos, condiciones que son afectadas por el genotipo, el ambiente y la interacción de éstos.

La edad fisiológica y el tamaño de la semilla-tubérculo empleada durante la siembra, son dos de los caracteres que están altamente asociados con los diferentes componentes del

rendimiento en muchos cultivares de papa (Arsenault & Christie, 2004), aunque en algunas investigaciones se ha observado que el rendimiento total en la mayoría de las variedades no es afectado por el peso de la semilla-tubérculo, siempre que en etapas iniciales de crecimiento, el cultivo haya estado libre de factores adversos (Milton & Allen, 1995).

El rendimiento desde el punto de vista fisiológico es el producto de tres distintos procesos. El primero ocurre después de la siembra, en donde los tallos crecen de las yemas u ojos de la semilla tubérculo; el segundo se presenta cuando los tubérculos son formados en los ápices de los estolones, los que se desarrollan de las yemas basales del tallo, y en el tercer proceso, los tubérculos entran en un periodo de crecimiento activo hasta que alcanzan la máxima acumulación de materia seca. Por lo que el número de tallos por semilla tubérculo, número de tubérculos por tallo y el peso promedio del tubérculo, son los tres componentes que definen el rendimiento final (Lynch & Tai, 1989; Zvomuya & Rosen, 2002).

En otros estudios, se ha observado que la semilla tubérculo de mayor tamaño tiende a producir mayor número de tallos y tubérculos por planta (Arsenault & Christie, 2004), y que estos dos componentes podrían ser útiles como un pronóstico rápido del rendimiento del cultivo (Lynch *et al*., 2001). Sin embargo, el aumento en el número de tallos por planta puede reducir el rendimiento, ya que se incrementa la proporción de tubérculos pequeños (Iritani *et al*., 1983); sobre todo en regiones en condiciones ambientales limitantes.

4.11 Efectos de la poda de estolones en la producción de papa en aeroponía

Oraby *et al*. (2015), estudiaron el efecto de la baja temperatura de la solución de nutritiva y la aplicación de estrés para aumentar la producción de minitubérculos de papa, donde se estableció que la baja temperatura de la solución de nebulización principalmente incide en el contenido de clorofila, la longitud de la raíz y el número de estolones.

Por otro lado, Farran & Mingo-Castel. (2006), demostraron el efecto de la densidad e intervalos de cosecha, donde el número de estolones se vio afectado por las bajas densidades de plantas, lo que indico de manera indirecta la relación significativa que existe entre el tiempo de cosecha y la poda de estolones. Tiwari *et al*. (2020), demostró la influencia significativa de la aplicación de nitrógeno en el crecimiento, longitudinal y volumen de estolones.

Farran y Mingo (2006) reportaron un rendimiento de minitubérculos de 800 tubérculos por m^2 a una densidad de plantación de 60 plantas por m^2 durante un período de cinco meses con cosechas semanales. Esto se traduce en una tasa de multiplicación de 1:13. También encontraron que el rendimiento de campo de los tubérculos producidos aeroponicamente era similar al de los minitubérculos producidos en macetas. En el Centro Internacional de la Papa (CIP) en Perú se obtuvieron rendimientos de más de 100 tubérculos por planta (Gopinath *et al*., 2017).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Localización del sitio experimental

El experimento se realizó en dos ciclos de producción, el primero, en verano-otoño durante los meses de julio a octubre del 2022 y el segundo, en primavera-verano de junio a septiembre del 2023 en condiciones de invernadero bajo la técnica de aeroponía (Figura 1), en las instalaciones de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, localizada en San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla (19° 52´ 31´´ LN y 97° 22´ 02´´ LO), a 1676 msnm, precipitación promedio anual de 1100 - 1500 mm. La temperatura media del primer ciclo fue de 22 °C y el segundo de 24 °C.

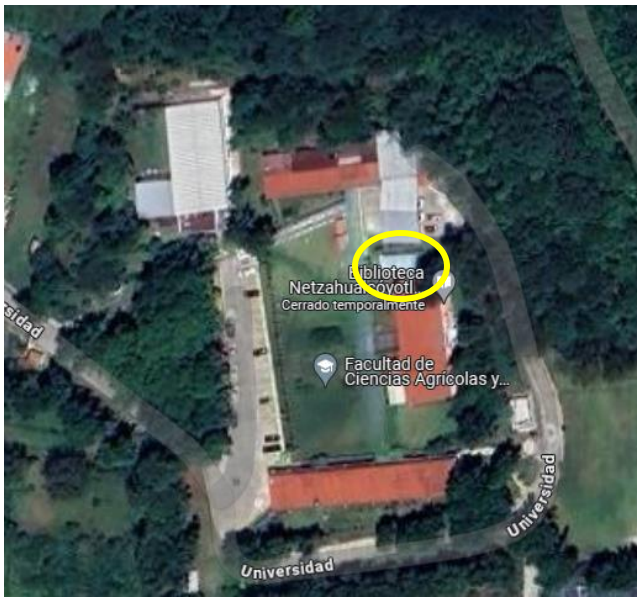

FIGURA 1. Localización del sitio experimental

5.2 Material vegetativo

Se utilizó semilla tubérculo de las variedades Fianna y Orchestra, con ciclos biológicos de 90 a 110 días de siembra a cosecha en condiciones de aeroponía, en estado fisiológico de dominancia apical (un brote por tubérculo).

5.3 Módulo aeropónico

El cultivo se estableció en un módulo aeropónico en invernadero (48 m^2), el cual consistió en una estructura metálica PTR cal 12, con dimensiones de 3.10 m de longitud, 1.20 m de ancho y 2. 60 m de altura, con área potencial de siembra de 3.72 m^2, una cisterna de agua con dimensiones de 3.0 m de largo y 1.1 m de ancho, con pendiente del 5 %, y capacidad de almacenamiento de 1230 litros de agua, que es el área de recirculación de la solución nutritiva. Se utilizó una placa de unicel como soporte de las plantas con 1 pulgada de grosor, con perforaciones de 5 cm de diámetro a distancias de 30 cm entre filas (plantas) y 26 cm entre hileras. 50 % de las plantas tuvo como soporte además del unicel, canastillas de plástico de 2 pulgadas (Figura 2).

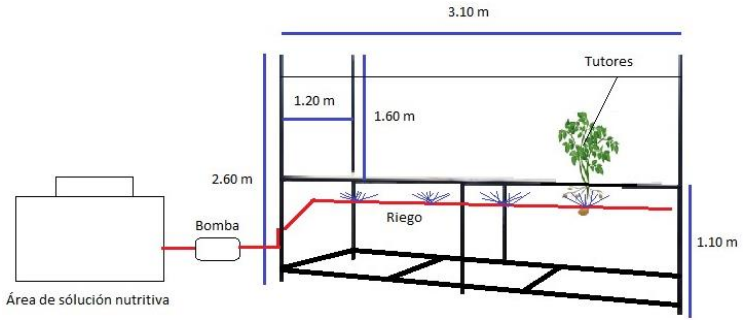

Figura 2. Sistema aeropónico para la producción de papa.

5.4 Sistema de riego

El sistema de riego estuvo integrado por 20 nebulizadores Green Mist de 30 lph con antigoteo, dispersión de neblina de 56 micrones a una presión de 2.0 bar y diámetro de humedecimiento de 0.6 m. Los intervalos de riego se realizaron con base al monitoreo de la temperatura, humedad relativa y necesidades hídricas en cada etapa fenológica del cultivo, lo que resultó en 10 min de riego a intervalos de 30 y 60 min. La cisterna de agua contó con dos bombas centrifugas de acero inoxidable de 1hp, Tipo Jet de 115 volts, una para activar el sistema de riego del tinaco a las plantas y la segunda para el retorno de la solución nutritiva de la cisterna al tinaco. La tubería empleada fue de material PVC hidráulico rd 26 de 1

pulgada, y se utilizaron dos tinacos de 450 litros para la preparación de la solución nutritiva. El sistema de control fue mediante un programador marca Raind Bird, modelo ESP-TM2, dos electroválvulas Raind Bird, un arrancador Siemens y un manómetro de glicerina.

5.5 Monitoreo de parámetros agroclimáticos y del agua

A lo largo de los dos ciclos de cultivo, se registró la temperatura del aire y la humedad relativa en el interior del invernadero con una estación meteorológica Marca La Cross Technology, Modelo V40A-PRO-INT, así mismo, se midió la incidencia de luminosidad mediante un Luxómetro Profesional Marca Extech, Modelo HD450. La temperatura de la hoja se determinó en la parte media de dosel a las 7:00, 13:30 y 17:00 horas de día, con un termómetro infrarrojo Modelo Fluke 64-MAX. Los parámetros de pH y CE de la solución nutritiva se monitorearon con un medidor multiparamétrico Marca Hanna, Modelo HI98195.

5.6 Establecimiento del cultivo en el módulo aeropónico

El establecimiento se realizó en dos etapas, en la primera, 50 semillas tubérculo de cada variedad fueron sembradas en macetas de plástico color negro (17 x 13.5 cm) llenas con la mezcla de sustrato turba - perlita (1:1 v/v), a una profundidad de 10 cm. Las macetas se colocaron a una distancia de 50 cm entre hileras y 30 cm entre filas (plantas), suministrando el riego de forma manual a capacidad de campo.

En la segunda etapa, una vez que las plantas alcanzaron una longitud de 5 cm en la parte aérea y radical, se colocaron en el módulo a una densidad de 11 plantas·m^2 a una distancia de 30 cm entre planta y 26 cm entre hileras, de acuerdo con la metodología propuesta por Andrade-Piedra (2015). Una vez que las plantas entraron en la etapa de inicio de tuberización y cuando los tubérculos diferenciados alcanzaron 0.5 cm de diámetro, se realizó la poda, para esta actividad, a la mitad de los tratamientos se les retiro el 50 % de los tubérculos, incluyendo parte del estolón y se cuidó que los tubérculos que se diferenciaron posteriormente al tratamiento de poda fueran eliminados.

5.7 Diseño experimental

En cada ciclo, la investigación se estableció bajo el diseño experimental completamente al azar en arreglo factorial 2^3, con ocho tratamientos y cinco repeticiones (Cuadro 2). Los factores variedad estuvo integrado por los niveles Orchestra y Fianna, soporte por canastilla y unicel en tanto que la poda por 0 y 50 %.

Cuadro 2. Tratamientos evaluados en la investigación.

Tratamiento	Factores de estudio		
	Variedad	Soporte	Poda (%)
1	Orchestra	canastilla	50
2	Orchestra	unicel	0
3	Orchestra	canastilla	50
4	Orchestra	unicel	0
5	Fianna	canastilla	50
6	Fianna	unicel	0
7	Fianna	canastilla	50
8	Fianna	unicel	0

5.8 Variables evaluadas

Una vez establecidos los tratamientos en el sistema aeropónico, se determinó a lo largo de los dos experimentos a partir de la emergencia de las plantas en la primera etapa, el número de grados día a inicio de estoloneo (GDE), identificado como el momento en que apareció el estolón en el tallo, inicio de tuberización (GDT), determinado cuando ocurrió el engrosamiento del ápice del estolón y madurez fisiológica del tubérculo (GMF), marcado por la acumulación máxima de materia seca en el tubérculo y pérdida de la coloración verde del follaje, mediante el método residual clásico (Morales *et al.,* 2018) y considerando como temperatura base del cultivo un valor de 6 °C (Cao y Tibbits, 1995). Los grados día acumulados en el inicio de cada etapa fenológico resultó de la suma de las diferencias de la temperatura media diaria y la temperatura base.

Al momento de la cosecha se cuantificó el número de tubérculos en cada una de las plantas (NTP), peso de tubérculos por planta (PTP, g) , peso promedio de tubérculo por planta (PEP, g), obtenido al dividir PTP entre NTP, diámetro polar de tubérculo por planta (DPP, cm), considerado desde la base y hasta el ápice del tubérculo, diámetro ecuatorial por planta (DEP, cm), registrado en la parte media del tubérculo, entre la parte basal y apical, altura de planta (ALP, m), considerada desde la base del módulo hasta la última hoja totalmente expandida, longitud de raíz (LOR, m), determinada desde la base del módulo hasta la punta

de la raíz totalmente expandida, longitud total de planta (LOT, m), obtenida al sumar la ALP y LOR.

La materia seca foliar incluyó hojas y ramas (MSF, g) y de la parte raíz (MSR) consideró a la raíz y parte del estolón, se determinaron cuando las variedades alcanzaron la madurez fisiológica del tubérculo, para ello las muestras MSF y MSR fueron colocadas en bolsas de papel por separado y llevadas a una estufa eléctrica de secado circulación forzada marca HCF modelo 172 debidamente rotuladas, donde estuvieron a temperatura de 70 °C hasta alcanzar peso constante. La materia seca total (MST, g) se obtuvo al sumar la MSF y MSR.

5.9 Análisis estadístico

Los datos obtenidos en los dos experimentos fueron analizados como serie de experimentos y consistieron en análisis de varianza y pruebas de comparación múltiple de medias de Tukey ($P \leq 0.05$), mediante el paquete estadístico SAS, versión 9.0 (SAS, 2004).

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Temperatura

6.1.1 Temperaturas del aire

En el ciclo verano-otoño 2022, la temperatura máxima fluctuó entre los 17.6 y 43.2 °C, mientras que la mínima en el rango de 7.9 a 16.7 °C (Figura 2A), condiciones que difirieron de lo registrado en el ciclo primavera-verano 2023, ya que la temperatura máxima osciló entre los 23.9 y 41.8 °C, y la mínima entre 12.7 y 17.7 °C (Figura 2B). Las temperaturas medias en los dos ciclos de cultivo tuvieron una variación de 2 °C, ya que en el primero se registró 22.5 °C en tanto que en el segundo 24.5 °C, resultados que concuerdan con lo reportado por Reddy *et al*. (2018) para la producción de estolones (16 - 25 °C) y Sandhu *et al*. (2018) en la formación y llenado de tubérculo (4 - 18 °C).

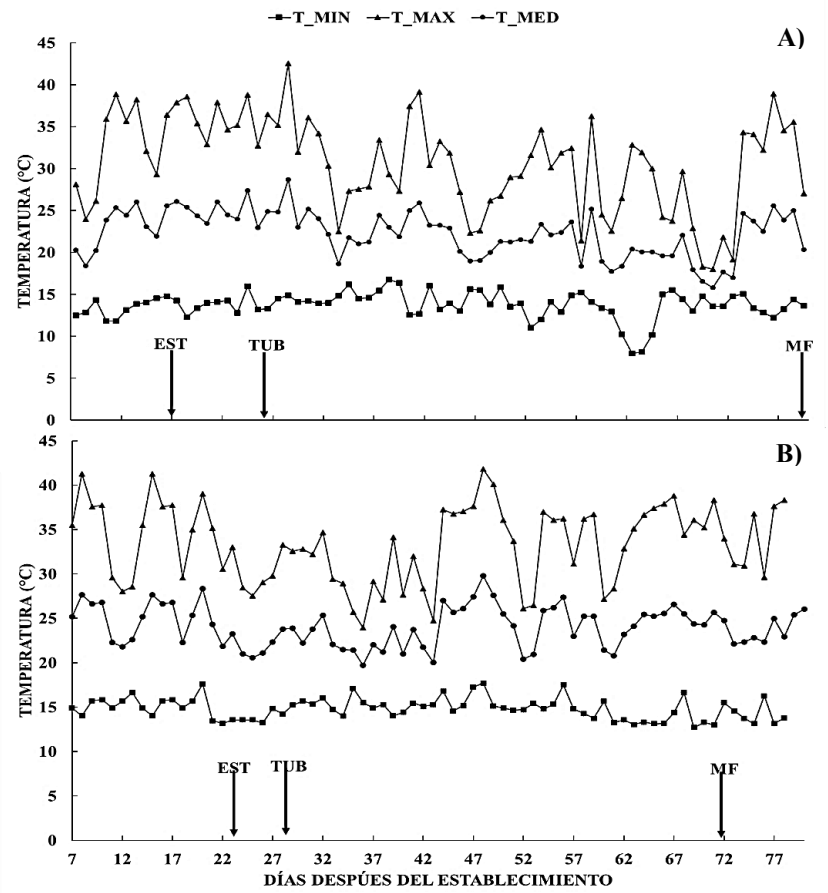

Figura 1. Temperaturas del aire registradas durante los ciclos verano-otoño 2022 (A) y primavera-verano 2023 (B) del cultivo de papa en aeroponía. Las flechas indican el inicio de las etapas de estoloneo (EST), tuberización (TUB) y madurez fisiológica del tubérculo (MF). T_MIN, T_MAX y T_MED representan a las temperaturas mínima, máxima y media.

6.1.2 Temperatura de la hoja

En el ciclo verano-otoño 2022, la temperatura del dosel en la mañana fluctuó entre los 9.7 y 18.9 °C y por la tarde en el intervalo de 15.1 a 20.2 °C (Figura 3A), resultados que muestran la estrecha relación con la temperatura ambiente, ya que en el horario de la mañana coincidieron las temperaturas del dosel y del ambiente. No obstante, por la tarde se observó un diferencial de 13.8 °C entre ambas temperaturas. Un comportamiento similar se observó durante el ciclo primavera-verano 2023 por la mañana, ya que el diferencial de temperaturas fue de 0.5 °C (Figura 3B).

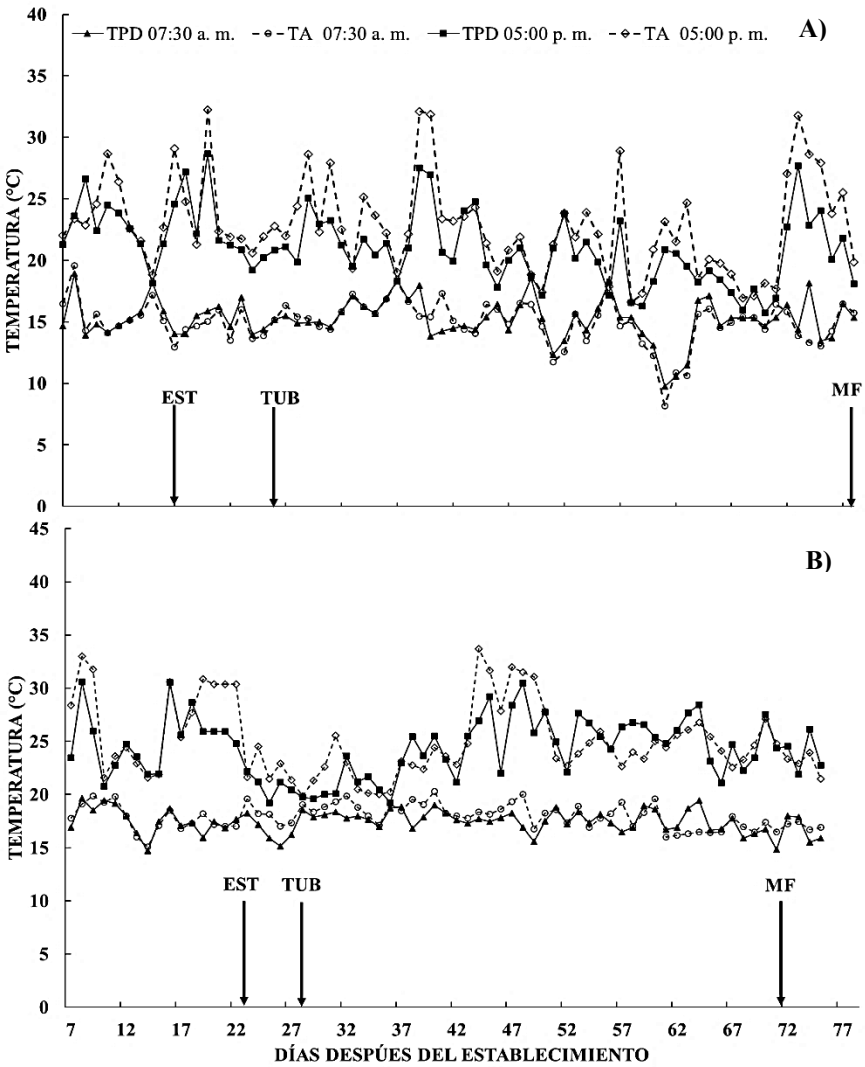

Figura 2. Temperatura del dosel registradas en los ciclos verano-otoño 2022 (A) y primavera-verano 2023 (B) del cultivo de papa en aeroponía. Las flechas indican el inicio de las etapas de estoloneo (EST), tuberización (TUB) y madurez fisiológica del tubérculo (MF). TPD y TA representan a las temperaturas medias del dosel y del ambiente.

6.2 Humedad relativa

En el ciclo verano-otoño 2022, la humedad relativa fluctúo entre el 74 y 100 %, con un valor medio de 91 % a lo largo del ciclo (Figura 4A), mientras que en primavera-verano 2023, se registraron variaciones de humedad en el orden de 66 a 98 %, y una media de 89 % (Figura 4B), condiciones que coinciden con lo reportado por Morales-Fernández *et al*. (2018), al indicar que los niveles de humedad superiores al 85 % no afectan el desarrollo del cultivo de papa, siempre que no se prolongue la exposición de las plantas a estos ambientes.

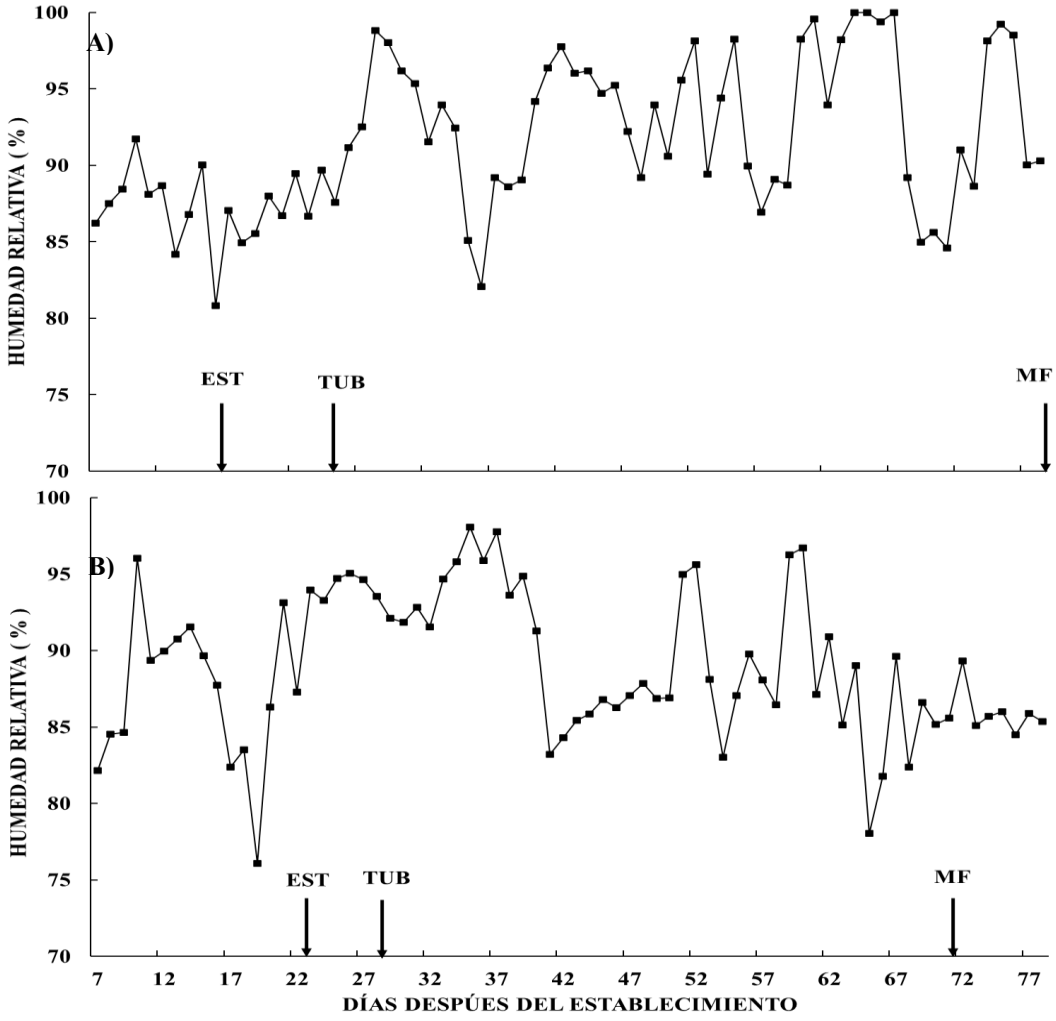

Figura 3. Humedad relativa registrada en los ciclos verano-otoño 2022 (A) y primavera-verano 2023 (B) del cultivo de papa en aeroponía. Las flechas indican el inicio de las etapas de estoloneo (EST), tuberización (TUB) y madurez fisiológica del tubérculo (MF).

6.3 Lux

En el ciclo verano-otoño 2022, se registró una fluctuación de 500 a 72,500 lux, con una media de 25,216 en el interior del invernadero (Figura 5A), mientras que en el ciclo primavera-verano 2023, fluctuó en el orden de 1,940 a 71,500 lux, y un valor medio de 30,343 (Figura 5B), resultados que concuerdan con lo reportado por Gopinath *et al*. (2017), al indicar que los cultivos olerícolas como la papa pueden expresar un desarrollo vegetativo óptimo en el rango de los 15,000 a 40,000 lux.

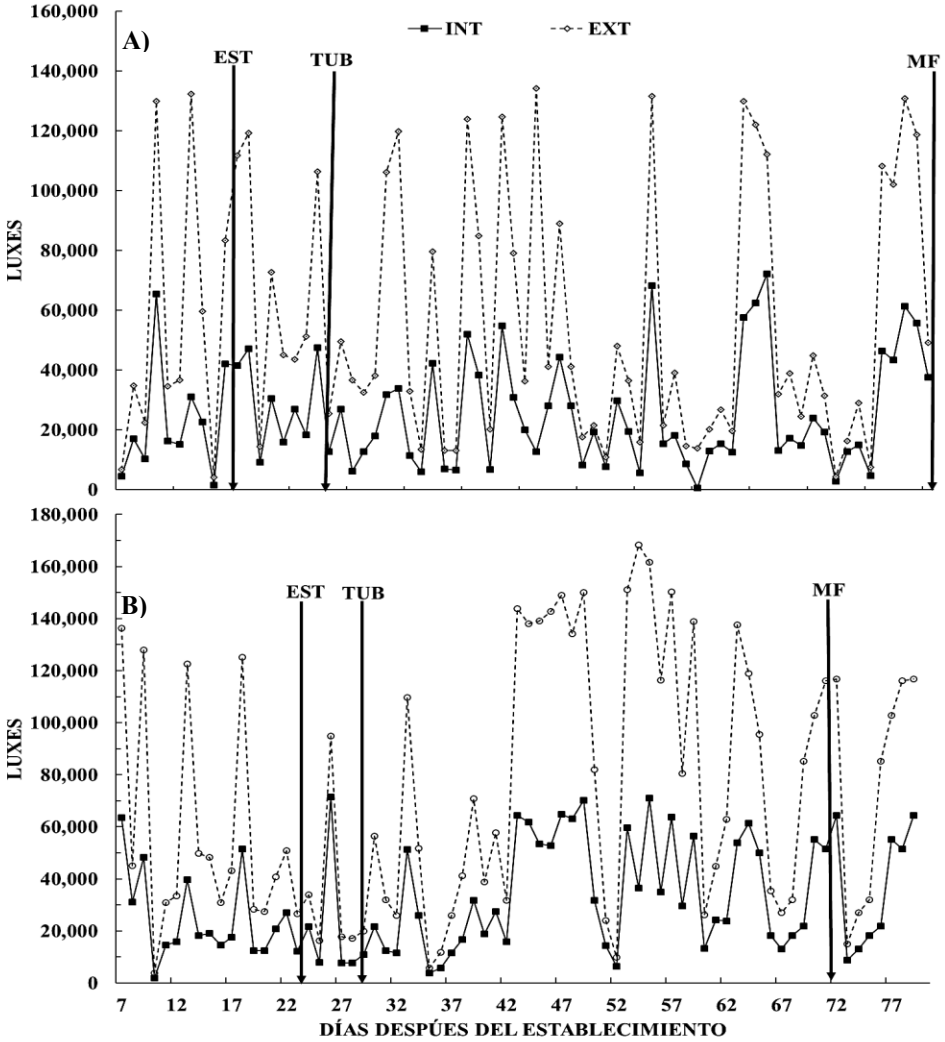

Figura 4. Cantidad de unidades lux registradas en el interior y exterior del invernadero durante los ciclos verano-otoño 2022 (A) y primavera-verano 2023 (B) del cultivo de papa en aeroponía. Las flechas indican el inicio de las etapas de estoloneo (EST), tuberización (TUB) y madurez fisiológica del tubérculo (MF). INT y EXT, representan a las cantidades de lux registradas en el interior y exterior del invernadero.

6.4. Análisis individuales

6.4.1.1 Ciclo verano-otoño 2022

El análisis de varianza del ciclo verano-otoño 2022 indicó, que las fuentes de variación variedad (V), poda de estolones con tubérculos recién diferenciados (P), interacciones variedad por poda (V*P), soporte por poda (S*P) y variedad por soporte por poda (V*S*P) fueron las que presentaron mayor número de variables con efectos significativos ($P \leq 0.05$) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables de fenología, rendimiento y biomasa en el cultivo de papa en condiciones de aeroponía, ciclo verano-otoño 2022.

VARIABLES	FUENTES DE VARIACIÓN							ERROR	CV (%)
	VAR (V)	SOP (S)	POD (P)	V * S	V * P	S * P	V * S * P		
GDE	3542.30**	72.50 NS	1108.30 NS	457.90 NS	1027.10 NS	333.10 NS	4532.20 NS	10.90	10.90
GDT	162205.20 **	341.00 NS	2545.50 NS	1788.30 NS	106.10 NS	12493.00*	4316.10 NS	1873.60	8.91
GMF	51194.00*	2399.40 NS	1279.10 NS	4431.00NS	2845.90 NS	38204.70 NS	13965.10 NS	11053.60	8.18
NTP	11.00 NS	3.00 NS	81.00**	11.00 NS	6.00 NS	1.00 NS	3.00 NS	7.00	39.59
DPP (mm)	124.82 NS	5.18 NS	0.73 NS	155.31 NS	115.31 NS	316.18 NS	155.87 NS	108.32	18.99
DEP (mm)	621.81**	22.76 NS	0.05 NS	50.92 NS	8.38 NS	65.61 NS	76.87 NS	42.81	16.85
PEP (g)	2940.41**	631.50 NS	1249.49 NS	348.01 NS	653.02 NS	305.38 NS	246.46 NS	333.15	28.91
PTP (g)	338.85 NS	2165.62 NS	90998.00*	7863.36 NS	6500.38 NS	8259.20 NS	40638.09 NS	14784.03	33.73
ALP (m)	0.14*	0.07 NS	0.02 NS	0.01 NS	0.02 NS	0.04 NS	0.23**	0.03	19.46
MSF (g)	210.63**	11.07 NS	76.68**	0.01 NS	97.20**	23.80 NS	134.90**	5.43	19.36
LOR (m)	0.22 NS	0.01 NS	0.23 NS	0.07 NS	0.20 NS	0.06 NS	0.01 NS	0.08	21.23
MSR (g)	19.26**	0.03 NS	3.76 NS	0.12 NS	5.13 NS	0.26 NS	18.90**	1.36	35.98
LOT (m)	0.71*	0.07 NS	0.38 NS	0.08 NS	0.01 NS	0.20 NS	0.36 NS	0.14	16.82
MST (g)	357.28**	12.33 NS	114.41**	0.08 NS	147.02**	29.04 NS	254.80**	10.85	21.55

NS, *; **: No significativo y significativo a una $P \leq 0.05$ y 0.01, respectivamente.

CV: coeficiente de variación; VAR: variedad; SOP: soporte; POD: poda; GDE: grados día a inicio de estoloneo; GDT: grados días a inicio de tuberización; GMF: grados día a madurez fisiológica del tubérculo; NTP: número de tubérculos por planta; DPP: diámetro polar por planta; DEP: diámetro ecuatorial por planta; PEP: peso promedio de tubérculos por planta; PTP: peso total de tubérculos por planta; ALP: altura de planta; LOR: longitud de raíz; LOT: longitud total de planta; MSF: materia seca foliar por planta; MSR: materia seca de raíz; MST: materia seca total por planta.

Las variables grados día a inicio de estoloneo (GDE), grados día a inicio de tuberización (GDT), grados día a madurez fisiológica del tubérculo (GMF), diámetro ecuatorial por planta (DEP), peso promedio de tubérculos por planta (PEP), altura de planta (ALP), materia seca foliar (MSF), materia seca de la raíz (MSR), longitud total de planta (LOT) y materia seca total (MST), para la fuente variedad y ALP, MSF, MSR y MST para la fuente V*S*P, fueron las que registraron efectos significativos (Cuadro 3). Estos

resultados indican que las variedades y la poda de estolones afectaron el crecimiento, rendimiento y acumulación de biomasa en el cultivo de papa, debido a las diferencias genotípicas y ambientales en el desarrollo del cultivo, situación similar a la reportada por Morales-Fernández *et al*. (2018).

La variedad Fianna fue la que registró el ciclo más tardío, ya que requirió 72 unidades calor más que la variedad Orchesta. Sin embargo, esa variación no se reflejó en un mayor rendimiento, ya que el peso de tubérculos por planta (PTP) fue similar entre las dos variedades (Cuadro 4). En general, la variedad Orchesta tuvo mayor diámetro polar por planta (DPP), DEP y PEP, en tanto que Fianna fue superior en la acumulación de biomasa (MSF, MSR y MST), resultados que muestran la importancia del carácter genético de las variedades en la acumulación de biomasa (Tiwari *et al*., 2020).

La poda al 50 % afectó de manera significativa el número de tubérculos por planta, ya que, en promedio, el tratamiento sin poda (0 %) desarrollo cuatro tubérculos más que el tratamiento con poda. El mayor rendimiento (PTP) se registró en el tratamiento con poda (29 %), lo que pudo ser atribuido al mayor PEP registrado en este tratamiento e indica que la poda de estolones tuvo un efecto en el crecimiento de los tubérculos que permanecieron en la planta, debido a la redistribución de nutrientes (López-Gómez *et al*., 2020).

La comparación de los factores variedad y soporte indicó, que Orchesta con canastilla tuvo el mayor DEP 13 % y PEP 22 % con respecto a los demás tratamientos (Cuadro 5), estos parámetros junto con el número de tubérculos por planta son los principales componentes que definen el rendimiento de papa (Morales-Fernández *et al*., 2018). El tratamiento de Fianna con canastilla presentó 46 % mayor contenido de MST en comparación con la variedad orquesta con unicel, lo que hace notar el carácter genético de la variedad (Tiwari *et al*., 2020).

Cuadro 4. Comparación de medias para las variables de fenología, rendimiento y biomasa en los factores principales del cultivo de papa en condiciones de aeroponía, verano-otoño 2022.

VARIABLES	VARIEDAD		DMSH	SOPORTE		DMSH	PODA (%)		DMSH
	ORCHESTRA	FIANNA		CANASTILLA	UNICEL		50	0	
GDE	274.00 b[Z]	334.00 a	21.40	305.00 a	303.00 a	21.40	299.00 a	309.00 a	21.40
GDT	403.00 b	568.00 a	37.50	482.00 a	490.00 a	37.50	475.00 a	496.00 a	37.50
GMF	1249.00 b	1321.00 a	67.70	1293.00 a	1277.00 a	67.70	1290.00 a	1279.00 a	67.70
NTP	6.00 a	7.00 a	2.20	7.00 a	6.00 a	2.20	5.00 b	8.00 a	2.20
DPP (mm)	56.56 a	53.03 b	6.70	54.43 a	55.15 a	6.70	54.93 a	54.66 a	6.70
DEP (mm)	42.77 a	34.89 b	4.21	38.07 a	39.58 a	4.21	38.87 a	38.79 a	4.21
PEP (g)	74.19 a	52.05 b	15.80	68.25 a	58.00 a	15.80	70.34 a	55.90 a	15.80
PTP (g)	364.18 a	356.67 a	105.23	350.93 a	369.92 a	105.23	422.00 a	298.85 b	105.23
ALP (m)	0.83 b	0.95 a	0.11	0.93 a	0.84 a	0.11	0.86 a	0.91 a	0.11
MSF (g)	9.07 b	15.00 a	2.02	12.72 a	11.36 a	2.02	10.25 a	13.83 a	2.02
LOR (m)	1.25 a	1.39 a	0.18	1.32 a	1.32 a	0.18	1.24 a	1.40 a	0.18
MSR (g)	2.35 b	4.15 a	1.01	3.28 a	3.21 a	1.01	2.85 a	3.64 a	1.01
LOT (m)	2.07 b	2.34 a	0.23	2.25 a	2.16 a	0.23	2.11 a	2.30 a	0.23
MST (g)	11.43 b	19.14 a	2.85	16.00 a	14.57 a	2.85	13.10 b	17.47 a	2.85

[Z]Valores con la misma letra dentro de columnas, son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.
GDE: grados día a inicio de estoloneo; GDT: grados día a inicio de tuberización; GMF: grados día a madurez fisiológica del tubérculo; NTP: número de tubérculos por planta; DPP: diámetro polar por planta; DEP: diámetro ecuatorial por planta; PEP: peso promedio de tubérculos por planta; PTP: peso total de tubérculos por planta; ALP: altura de planta; LOR: longitud de raíz; LOT: longitud total por planta; MSF: materia seca foliar por planta; MSR: materia seca de raíz; MST: materia seca total por planta.

Cuadro 5. Comparación de medias para las variables de fenología, rendimiento y biomasa en las interacciones dobles del cultivo de papa en condiciones de aeroponía, ciclo verano-otoño 2022.

FACTORES		GDE	GDT	GMF	NTP	DPP (mm)	DEP (mm)	PEP (g)	PTP (g)	ALP (m)	MSF (g)	LOR (m)	MSR (g)	LOT (m)	MST (g)
VARIEDAD	**SOPORTE**														
ORCHESTA	**CANASTILLA**	279.00 b[Z]	391.00 b	1267.00 a	6.00 a	58.17 a	43.15 a	75.51 a	372.78 a	0.88 a	9.77 ab	1.29 a	2.32 a	2.16 a	12.08 ab
ORCHESTA	**UNICEL**	270.00 b	416.00 b	1231.00 a	6.00 a	54.95 a	42.40 a	72.87 a	355.58 a	0.78 a	8.38 b	1.21 a	2.38 a	1.99 a	10.77 b
FIANNA	**CANASTILLA**	332.00 a	572.00 a	1318.00 a	8.00 a	50.70 a	33.00 b	60.99 ab	329.07 a	0.98 a	15.67 a	1.35 a	4.25 a	2.34 a	19.92 a
FIANNA	**UNICEL**	336.00 a	563.00 a	1323.00 a	6.00 a	55.36 a	36.77 ab	43.11 b	384.27 a	0.91 a	14.33 a	1.44 a	4.03 a	2.34 a	18.37 ab
DMSH		42.00	74.00	128.00	4.15	12.67	8.01	29.73	209.56	0.23	5.93	0.33	2.54	0.46	8.24
VARIEDAD	**PODA (%)**														
ORCHESTA	**50**	264.00 b	391.00 b	1263.00 a	5.00 b	58.40 a	43.27 a	86.62 a	409.30 a	0.83 a	9.30 b	1.15 a	2.42 b	1.97 b	11.72 b
ORCHESTA	**0**	285.00 b	416.00 b	1235.00 a	7.00 ab	54.72 a	42.28 ab	61.76 ab	319.06 a	0.83 a	8.85 b	1.34 a	2.28 b	2.17 ab	11.13 b
FIANNA	**50**	333.00 a	559.00 a	1318.00 a	5.00 b	51.46 a	34.47 b	54.05 b	434.70 a	0.90 a	11.20 b	1.34 a	3.28 ab	2.24 ab	14.48 b
FIANNA	**0**	334.00 a	576.00 a	1323.00 a	10.00 a	54.59 a	35.30 ab	50.05 b	278.63 a	0.99 a	18.80 a	1.45 a	5.00 a	2.44 a	23.80 a
DMSH		42.00	74.00	128.00	4.15	12.67	8.01	29.73	209.56	0.23	5.93	0.33	2.54	0.46	8.24
SOPORTE	**PODA (%)**														
CANASTILLA	**50**	303.00 a	448.00 a	1267.00 a	5.00 ab	57.38 a	39.39 a	79.03 a	393.95 a	0.88 a	9.93 a	1.20 a	2.78 a	2.08 a	12.72 a
CANASTILLA	**0**	308.00 a	515.00 a	1318.00 a	9.00 a	51.49 a	36.76 a	57.47 a	307.90 a	0.98 a	15.50 a	1.43 a	3.78 a	2.42 a	19.28 a
UNICEL	**50**	295.00 a	502.00 a	1314.00 a	4.00 b	52.48 a	38.34 a	61.64 a	450.05 a	0.85 a	10.57 a	1.29 a	2.92 a	2.14 a	13.48 a
UNICEL	**0**	311.00 a	477.00 a	1240.00 a	8.00 ab	57.83 a	40.83 a	54.34 a	289.80 a	0.83 a	12.15 a	1.36 a	3.50 a	2.19 a	15.65 a
DMSH		42.00	74.00	128.00	4.15	12.67	8.01	29.72	209.56	0.23	5.92	0.33	2.54	0.46	8.24

[Z]Valores con la misma letra dentro de columnas, son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una P≤0.05.

DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

GDE: grados día a inicio de estoloneo; GDT: grados día a inicio de tuberización; GMF: grados día a madurez fisiológica del tubérculo; NTP: número de tubérculos por planta; DPP: diámetro polar por planta; DEP: diámetro ecuatorial por planta; PEP: peso promedio de tubérculos por planta; PTP: peso total de tubérculos por planta; ALP: altura de planta; LOR: longitud de raíz; LOT: longitud total por planta; MSF: materia seca foliar por planta; MSR: materia seca de raíz; MST: materia seca total por planta.

La comparación de variedad y poda indicó, que Fianna sin poda tuvo 43 y 48 % mayor NTP y MST. Sin embargo, Orchesta con poda al 50 % presentó mayor diámetro polar (49 %) y ecuatorial (36 %) en comparación con los demás tratamientos (Cuadro 5). A pesar de que el NTP es un componente importante que define el rendimiento de papa (Morales-Fernández *et al*., 2018), este carácter no afectó el PTP, ya que la poda de tubérculos permitió una redistribución de nutrientes en el tubérculo y en consecuencia un mayor tamaño (López-Gómez *et al*., 2020).

El análisis conjunto de los factores variedad, soporte y poda indicó que Orchesta con canastilla y poda al 50 % tuvo 30 y 56 % mayor DEP y PEP, con respecto a los demás tratamientos (Cuadro 6), en tanto que Fianna con canastilla y sin poda fue 52 % superior en la acumulación de MST.

Cuadro 6. Comparación de medias para las variables de fenología, rendimiento y biomasa en la interacción triple del cultivo de papa en condiciones de aeroponía, ciclo verano-otoño 2022.

FACTORES			GDE	GDT	GMF	ALP (m)	MSF (g)	LOR (m)	MSR (g)
VARIEDAD	SOPORTE	PODA (%)							
ORCHESTA	CANASTILLA	50	282.00 ab[Z]	369.00 c	1269.00 a	0.92 ab	11.37 bcd	1.17 a	3.17 ab
ORCHESTA	CANASTILLA	0	276.00 ab	413.00 bc	1265.00 a	0.83 ab	8.17 cd	1.40 a	1.47 b
ORCHESTA	UNICEL	50	245.00 b	413.00 bc	1257.00 a	0.74 b	7.23 d	1.13 a	1.67 b
ORCHESTA	UNICEL	0	294.00 ab	419.00 bc	1204.00 a	0.82 ab	9.53 bcd	1.28 a	3.10 ab
FIANNA	CANASTILLA	50	224.00 a	528.00 ab	1265.00 a	0.83 ab	8.50 bcd	1.24 a	2.40 b
FIANNA	CANASTILLA	0	340.00 a	617.00 a	1370.00 a	1.14 a	22.83 a	1.46 a	6.10 a
FIANNA	UNICEL	50	343.00 a	591.00 a	1370.00 a	0.97 a	13.90 bc	1.44 a	4.17 ab
FIANNA	UNICEL	0	328.00 ab	535.00 ab	1276.00 a	0.84 ab	14.77 b	1.43 a	3.90 ab
DMSH			68.00	12.00	215.00	0.35	6.59	0.57	3.30

LOT (m)	MST (g)	NTP	DPP (mm)	DEP (mm)	PEP (g)	PTP (g)
2.09 a	14.53 bc	4.00 a	64.79 a	46.31 a	94.71 a	440.50 a
2.23 a	9.63 bc	7.00 a	51.55 a	39.99 ab	56.31 ab	305.07 a
1.87 a	8.90 c	5.00 a	52.00 a	40.23 ab	78.53 ab	378.10 a
2.11 a	12.63 bc	8.00 a	57.90 a	44.57 ab	67.21 ab	333.06 a
2.07 a	10.90 bc	5.00 a	49.97 a	32.48 b	63.35 ab	347.40 a
2.60 a	28.93 a	11.00 a	51.42 a	33.53 ab	58.63 ab	310.73 a
2.41 a	18.07 bc	4.00 a	52.96 a	36.45 ab	44.75 ab	522.00 a
2.28 a	18.67 b	8.00 a	57.76 a	37.08 ab	41.48 b	246.53 a
0.76	9.31	7.28	21. 32	13.41	51.60	343.71

[Z]Valores con la misma letra dentro de columnas, son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una P≤0.05.
DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.
GDE: grados día a inicio de estoloneo; GDT: grados día a inicio de tuberización; GMF: grados día a madurez fisiológica del tubérculo; NTP: número de tubérculos por planta; DPP: diámetro polar por planta; DEP: diámetro ecuatorial por planta; PEP: peso promedio de tubérculos por planta; PTP: peso total de tubérculos por planta; ALP: altura de planta; LOR: longitud de raíz; LOT: longitud total por planta; MSF: materia seca foliar por planta; MSR: materia seca de raíz; MST: materia seca total por planta.

Al respecto, Tiwari *et al*. (2020) indican que la capacidad de acumulación de biomasa se debe principalmente a la genética de las variedades, como se observó en la presente investigación en la que Fianna se ubicó como un material sobresaliente al registrar el mayor contenido de MST.

6.4.2.1A Ciclo primavera-verano 2023

El análisis de varianza en el ciclo primavera-verano 2023 indicó, efectos significativos en todas las fuentes de variación (P≤0.05), y las que presentaron mayor número de variables fueron variedad, poda y soporte, así como, las interacciones soporte por poda y variedad por soporte por poda (Cuadro 7). En general, las variables de rendimiento (NTP, DPP, DEP, PEP, PTP) fueron las que presentaron efectos significativos, resultados que muestran como el carácter genético de las variedades al ser expuestas a diferentes condiciones de manejo, pueden modificar su potencial de desarrollo (Hancock et al., 2014).

Cuadro 7. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables de fenología, rendimiento y biomasa en el cultivo de papa en condiciones de aeroponía, ciclo primavera-verano 2023.

VARIABLES	FUENTES DE VARIACIÓN							ERROR	CV (%)
	VAR (V)	SOP (S)	POD (P)	V * S	V * P	S * P	V * S * P		
GDE	3749.00^{NS}	5320.00^{NS}	295.00^{NS}	4423.00^{NS}	42.00^{NS}	1322.00^{NS}	944.00^{NS}	1745.40	10.51
GDT	52877.00**	366.00^{NS}	48.00^{NS}	3.00^{NS}	1084.00^{NS}	19620.00**	157.00^{NS}	2053.80	8.47
GMF	0.65^{NS}	25913.00^{NS}	25914.00^{NS}	1339.00^{NS}	1339.00^{NS}	25914.00^{NS}	1339.00^{NS}	12521.70	8.80
NTP	228.00**	70.00**	165.00**	26.00^{NS}	108.00**	38.00*	14.00^{NS}	7.00	31.20
DPP (mm)	2232.53 **	386.43**	684.68**	87.97^{NS}	44.87^{NS}	525.67 **	329.95**	40.68	11.12
DEP (mm)	496.59**	22.52^{NS}	74.17*	72.08*	0.06^{NS}	116.89**	12.47^{NS}	10.57	10.08
PEP (g)	8525.16**	221.32^{NS}	442.26*	341.72^{NS}	3.47^{NS}	1724.80**	602.71*	87.62	21.76
PTP (g)	13752.09^{NS}	50508.38**	13099.35^{NS}	0.63^{NS}	12668.42^{NS}	4628.70^{NS}	12123.02^{NS}	3568.40	20.05
ALP (m)	0.24^{NS}	0.19^{NS}	0.02^{NS}	1.33^{NS}	0.05^{NS}	0.01^{NS}	0.01^{NS}	0.06	14.83
MSF (g)	5754.68**	174.64^{NS}	1.74^{NS}	45.88^{NS}	44.17^{NS}	101.70^{NS}	195.59^{NS}	115.26	31.12
LOR (m)	0.94**	0.01^{NS}	0.001^{NS}	0.003^{NS}	0.02^{NS}	0.006^{NS}	0.24**	0.03	11.85
MSR (g)	290.79**	54.12**	13.28^{NS}	18.25^{NS}	3.89^{NS}	16.02^{NS}	21.51^{NS}	5.59	30.92
LOT (m)	2.12**	0.16^{NS}	0.007^{NS}	0.003^{NS}	0.003^{NS}	0.001^{NS}	0.15^{NS}	0.06	8.11
MST (g)	2158.16**	105.80^{NS}	1.352^{NS}	30.50^{NS}	5.46^{NS}	49.61^{NS}	86.70^{NS}	36.27	29.32

ns; *; **: No significativo y significativo a una *P*≤0.05 y 0.01, respectivamente.

CV: coeficiente de variación; VAR: variedad; SOP: soporte; POD: poda; GDE: grados día a inicio de estoloneo; GDT: grados días a inicio de tuberización; GMF: grados día a madurez fisiológica del tubérculo; NTP: número de tubérculos por planta; DPP: diámetro polar por planta; DEP: diámetro ecuatorial por planta; PEP: peso promedio de tubérculos por planta; PTP: peso total de tubérculos por planta; ALP: altura de planta; LOR: longitud de raíz; LOT: longitud total por planta; MSF: materia seca foliar por planta; MSR: materia seca de raíz; MST: materia seca total por planta.

En el factor variedad, Orchestra presentó en general un comportamiento superior a la variedad Fianna en las variables de rendimiento (DPP, DEP, PEP y PTP), en tanto que esta última lo fue en GDT, NTP y biomasa (MSF, LOR, MSR, LOT y MST). Orchestra tuvo 15 % mayor PTP y DPP, y fueron el DEP y PEP los componentes que más contribuyeron con el rendimiento (Cuadro 8). Fianna registró 21 y 73 % mayor LOT y MST con respecto a Orchestra. Al respecto, Mateus-Rodríguez *et al*. (2014), indican que la genética de las variedades puede influir en la acumulación de la biomasa, como ocurrió en la presente investigación. Sin embargo, no fue la de mayor rendimiento, lo que indica que existen otros factores como el ambiental, que pueden afectar este carácter.

En el factor tipo de soporte, el tratamiento con canastilla fue 12 % superior en la variable DPP con respecto al soporte de unicel, sin embargo, este último fue superior en el NTP (30 %), PTP (27 %) y MSR (35 %), caracteres que se desarrollan en la zona radicular de la planta e indican que el soporte de unicel pudo ser un factor que le permitió a la raíz tener un mejor desarrollo, ya que según Otazú (2010), una de las desventajas que presenta el sistema de producción aeropónico es la oposición a la gravedad de todos los componentes de la planta, y que en esta investigación se trató de amortiguar con el tipo de soporte.

En el factor poda, se observó que el tratamiento de 50 % fue superior en las variables DPP (16 %), DEP (10 %) y PEP (17 %) a sin poda (0 %), no obstante, este último lo fue para la variable NTP (45 %) (Cuadro 8). La práctica de la poda o remoción de estolones con tubérculos recién formados fue un factor que afecto el tamaño de éstos, resultados que concuerdan con lo mencionado por Ramírez-Morales *et al*. (2023), quienes indican que en algunas especies olerícolas, el nivel de poda de estolones influye directamente en el tamaño y calidad del órgano de interés económico.

Cuadro 8. Comparación de medias para las variables de fenología, rendimiento y biomasa en los factores principales del cultivo de papa en condiciones de aeroponía, ciclo primavera-verano 2023.

VAR	VARIEDAD		DMSH	SOPORTE		DMSH	PODA (%)		DMSH
	ORC	FIA		CAN	UNI		50	0	
GDE	284.00 a[Z]	412.00 a	42.00	385.00 a	417.00 a	3.00	405.00 a	397.00 a	41.00
GDT	472.00 b	577.00 a	45.00	530.00 a	539.00 a	44.00	533.00 a	536.00 a	44.00
GMF	1271.00 a	1271.00 a	111.00	1235.00 a	1307.00 a	109.00	1307.00 a	1235.00 a	109.00
NTP	5.00 b	12.00 a	2.00	7.00 b	10.00 a	2.00	6.00 b	11.00 a	2.00
DPP (mm)	67.66 a	49.61 b	5.08	61.06 a	53.63 b	5.03	62.29 a	52.40 b	5.03
DEP (mm)	37.12 a	28.61 b	2.59	33.15 a	31.36 a	2.56	33.88 a	30.63 b	2.56
PEP (g)	63.17 a	27.91 b	7.46	45.84 a	40.21 a	7.38	47.00 a	39.05 b	7.38
PTP (g)	321.86 a	273.99 a	51.70	252.05 b	343.80 a	51.70	274.56 a	321.29 a	51.70
ALP (m)	1.49 a	1.71 a	0.24	1.53 a	1.72 a	0.23	1.65 a	1.60 a	0.23
MSF (g)	12.65 b	47.28 a	10.68	30.47 a	36.38 a	10.46	33.72 a	33.13 a	10.46
LOR (m)	1.07 b	1.51 a	0.16	1.34 a	1.33 a	0.15	1.33 a	1.35 a	0.15
MSR (g)	2.98 b	10.76 a	2.35	6.00 b	9.29 a	2.30	6.83 a	8.46 a	2.30
LOT (m)	2.56 b	3.23 a	0.24	2.87 a	3.05 a	0.23	2.98 a	2.94 a	0.23
MST (g)	7.81 b	29.02 a	5.99	18.24 a	22.84 a	5.87	20.28 a	20.80 a	5.87

[Z]Valores con la misma letra dentro de columnas, son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una P≤0.05.
DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.
VAR: variedad; ORC: Orchestra; Fia: Fianna; CAN: canastilla; UNI: unicel; GDE: grados día a inicio de estoloneo; GDT: grados día a inicio de tuberización; GMF: grados día a madurez fisiológica del tubérculo; NTP: número de tubérculos por planta; DPP: diámetro polar por planta; DEP: diámetro ecuatorial por planta; PEP: peso promedio de tubérculos por planta; PTP: peso total de tubérculos por planta; ALP: altura de planta; LOR: longitud de raíz; LOT: longitud total por planta; MSF: materia seca foliar por planta; MSR: materia seca de raíz; MST: materia seca total por planta.

En la comparación de los factores variedad y tipo de soporte, el tratamiento compuesto por la variedad Orchestra y unicel presentó el mayor PTP (25 %) entre todos los tratamientos, y fueron los componentes DEP (18 %) y PEP (39 %) los que más contribuyeron al rendimiento (Cuadro 9). La variedad Fianna con unicel fue superior en el NTP (52 %) y en general en la acumulación de biomasa (MSF, LOR, MSR, LOT, MST) en relación con los demás tratamientos. Este comportamiento se puede explicar debido a una redistribución de fotoasimilados en los tubérculos, ya que según Ramírez-Morales *et al*. (2023), la concentración de fotoasimilados en un órgano en específico, suele afectar el desarrollo del otro, debido a la competencia que se genera entre estos, además de la habilidad genética de las plantas para poder acumularlos (Mateus-Rodríguez, 2021).

Cuadro 9. Comparación de medias para las variables de fenología, rendimiento y biomasa en las interacciones dobles del cultivo de papa en condiciones de aeroponía, ciclo primavera-verano 2023.

FACTORES		GDE	GDT	GMF	NTP	DPP (mm)	DEP (mm)	PEP (g)	PTP (g)	ALP (m)	MSF (g)	LOR (m)	MSR (g)	LOT (m)	MST (g)
VARIEDAD	**SOPORTE**														
ORCHESTA	**CANASTILLA**	386.00 a[Z]	467.00 b	1225.00 a	5.00 b	69.32 a	36.16 a	61.95 a	276.15 ab	1.39 a	11.55 b	1.10 b	2.50 c	2.49 b	7.03 b
ORCHESTA	**UNICEL**	382.00 a	476.00 b	1317.00 a	6.00 b	65.99 a	38.07 a	64.40 a	367.58 a	1.59 a	13.75 b	1.05 b	3.45 bc	2.64 b	8.60 b
FIANNA	**CANASTILLA**	384.00 a	573.00 a	1242.00 a	9.00 b	54.86 b	30.89 b	33.75 b	227.95 b	1.62 a	43.08 a	1.51 a	8.33 ab	3.13 a	25.71 a
FIANNA	**UNICEL**	440.00 a	581.00 a	1300.00 a	14.00 a	44.36 b	26.32 b	22.08 b	320.03 ab	1.81 a	51.47 a	1.52 a	13.18 a	3.33 a	32.33 a
DMSH		78.00	83.00	205.00	4.00	11.11	4.42	15.94	104.72	0.44	20.88	0.39	4.95	0.48	12
VARIEDAD	**PODA (%)**														
ORCHESTA	**50**	386.00 a	479.00 b	1317.00 a	5.00 b	71.14 a	38.69 a	66.74 a	321.48 a	1.58 a	11.13 b	1.02 c	2.70 b	2.60 b	6.91 b
ORCHESTA	**0**	382.00 a	464.00 b	1225.00 a	6.00 b	64.17 ab	35.54 a	59.61 a	322.25 a	1.40 a	14.18 b	1.13 bc	3.25 b	2.53 b	8.71 b
FIANNA	**50**	417.00 a	569.00 a	1300.00 a	7.00 b	55.65 b	30.28 b	32.19 b	227.65 a	1.70 a	48.78 a	1.53 a	9.58 a	3.24 a	29.18 a
FIANNA	**0**	407.00 a	584.00 a	1242.00 a	16.00 a	43.57 c	26.94 b	23.64 b	320.33 a	1.72 a	45.77 a	1.50 ab	11.93 a	3.22 a	28.85 a
DMSH		78.00	82.00	205.00	4.00	11.11	4.92	15.94	104.72	0.44	20.88	0.39	4.95	0.48	12
SOPORTE	**PODA (%)**														
CANASTILLA	**50**	397.00 a	560.00 a	1307.00 a	5.00 b	61.67 a	32.74 a	41.96 ab	214.80 b	1.58 a	33.02 a	1.32 a	6.08 b	2.90 a	19.55 a
CANASTILLA	**0**	373.00 a	501.00 a	1163.00 a	8.00 b	60.45 a	33.57 a	49.71 a	289.30 ab	1.47 a	27.92 a	1.37 a	5.92 b	2.84 a	16.92 a
UNICEL	**50**	413.00 a	506.00 a	1307.00 a	6.00 b	62.91 a	35.03 a	52.04 a	334.33 a	1.72 a	34.42 a	1.34 a	7.58 ab	3.06 a	21.00 a
UNICEL	**0**	421.00 a	572.00 a	1307.00 a	14.00 a	44.35 b	27.69 b	28.39 b	353.28 a	1.72 a	38.34 a	1.32 a	11.00 a	3.04 a	24.67 a
DMSH		77.00	81.00	200.00	4.00	10.99	4.86	15.78	104.72	0.43	20.46	0.38	4.85	0.47	11.76

[Z]Valores con la misma letra dentro de columnas, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

GDE: grados día a inicio de estoloneo; GDT: grados día a inicio de tuberización; GMF: grados día a madurez fisiológica del tubérculo; NTP: número de tubérculos por planta; DPP: diámetro polar por planta; DEP: diámetro ecuatorial por planta; PEP: peso promedio de tubérculos por planta; PTP: peso total de tubérculos por planta; ALP: altura de planta; LOR: longitud de raíz; LOT: longitud total por planta; MSF: materia seca foliar por planta; MSR: materia seca de raíz; MST: materia seca total por planta.

En la comparación de variedad y poda, el tratamiento con la variedad Orchestra y poda (50 %) registró los mayores valores de DPP (23 %), DEP (20 %) y PEP (42 %) con respecto a los demás tratamientos. Así mismo, Fianna sin poda presentó el mayor NTP (44 %) entre todos los tratamientos, condición que pudo haberse favorecido por un mayor contenido de MSR (75 %).

En la comparación tipo de soporte y poda, los tratamientos que tuvieron unicel como soporte (Cuadro 9), no tuvieron diferencias significativas en el rendimiento (PTP). Sin embargo, el tratamiento de unicel y poda de estolones con tubérculos recién diferenciados (50 %), destacó por haber presentado los mayores DPP (23 %), DEP (12 %) y PEP (11 %) mientras que, unicel sin poda en el NTP (55 %) y contenido de MSR (50 %), esto resalta el efecto de la poda en el incremento del tamaño de tubérculo, ya que, un menor número de tubérculos por planta permite un cambio en la relación fuente demanda de fotoasimilados, lo que permite un mayor crecimiento y homogeneidad en el órgano de interés (Ramírez-Morales *et al*., 2023).

El análisis conjunto de variedad, soporte y poda indicó, que los tratamientos de Orchesta con soporte de unicel y poda al 50 % y Fianna con unicel sin poda fueron los que tuvieron el mejor PTP (31 %) con respecto a los demás (Cuadro 10). Orchesta con unicel y poda destacó por haber tenido mayor DPP (28 %), DEP (23 %) y PEP (50 %), y Fianna con unicel sin poda NTP (67 %) y contenido de biomasa (MSF, MSR, LOT y MST). Estos resultados muestran la variación en los componentes del rendimiento que presentaron los tratamientos, lo que puede ser atribuido a los caracteres genéticos de las variedades (Mateus-Rodríguez *et al*., 2014). Así mismo, algunos estudios en aeroponía han puesto de manifiesto el papel del corte de tubérculos a lo largo del ciclo, lo que permite una mejor distribución y traslocación de fotoasimilados en el tubérculo y por lo tanto una mejora en el tamaño de este (Otazu, 2010).

Cuadro 10. Comparación de medias para las variables de fenología, rendimiento y biomasa en la interacción triple del cultivo de papa en condiciones de aeroponía, ciclo primavera-verano 2023.

FACTORES			GDE	GDT	GMF	NTP	DPP (mm)	DEP (mm)	PEP (g)
VARIEDAD	SOPORTE	PODA (%)							
ORCHESTA	CANASTILLA	50	405.00 a[z]	509.00 abc	1317.00 a	5.00 b	64.51 abc	36.46 ab	52.31 bc
ORCHESTA	CANASTILLA	0	367.00 a	425.00 c	1133.00 a	5.00 b	74.14 ab	35.86 ab	71.59 ab
ORCHESTA	UNICEL	50	368.00 a	449.00 bc	1317.00 a	5.00 b	77.77 a	40.92 a	81.17 a
ORCHESTA	UNICEL	0	397.00 a	504.00 abc	1317.00 a	7.00 b	54.21 c	35.23 ab	47.62 bc
FIANNA	CANASTILLA	50	391.00 a	594.00 ab	1301.00 a	6.00 b	59.54 bc	29.94 bc	34.20 cd
FIANNA	CANASTILLA	0	376.00 a	551.00 abc	1183.00 a	12.00 b	50.18 cd	31.85 b	33.30 cd
FIANNA	UNICEL	50	443.00 a	544.00 abc	1301.00 a	8.00 b	51.76 cd	30.61 b	30.19 cd
FIANNA	UNICEL	0	438.00 a	617.00 a	1301.00 a	21.00 a	36.96 d	22.03 c	13.97 d
DMSH			139.00	150.00	370.00	7.42	16.42	8.37	24.10
			PTP (g)	ALP (m)	MSF (g)	LOR (m)	MSR (g)	LOT (m)	MST (g)
			239.40 ab	1.54 a	8.45 d	0.89 c	1.85 c	2.43 c	5.15 b
			312.90 ab	1.25 a	14.65 bcd	1.30 abc	3.15 bc	2.55 bc	8.90 b
			403.55 a	1.62 a	13.80 cd	1.15 abc	3.55 bc	2.77 abc	8.68 b
			331.60 ab	1.56 a	13.70 cd	0.95 bc	3.35 bc	2.51 bc	8.53 b
			190.20 b	1.61 a	49.40 ab	1.60 a	8.90 abc	3.21 abc	29.15 a
			265.70 ab	1.62 a	36.77 abcd	1.42 ab	7.77 bc	3.04 abc	22.27 ab
			265.10 ab	1.79 a	48.17 abc	1.47 ab	10.27 ab	3.26 ab	29.22 a
			374.95 a	1.83 a	54.77 a	1.57 a	16.10 a	3.40 a	35.43 a
			168.86	0.80	35.47	0.52	7.81	0.79	19.90

[z]Valores con la misma letra dentro de columnas, son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una P≤0.05.

DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.
GDE: grados día a inicio de estoloneo; GDT: grados día a inicio de tuberización; GMF: grados día a madurez fisiológica del tubérculo; NTP: número de tubérculos por planta; DPP: diámetro polar por planta; DEP: diámetro ecuatorial por planta; PEP: peso promedio de tubérculos por planta; PTP: peso total de tubérculos por planta; ALP: altura de planta; LOR: longitud de raíz; LOT: longitud total por planta; MSF: materia seca foliar por planta; MSR: materia seca de raíz; MST: materia seca total por planta.

6.5 Análisis combinado

El análisis de los ciclos verano-otoño 2022 y primavera-verano 2023 de manera conjunta, indicó que las fuentes de variación experimentos (E), tratamientos (T) y la interacción experimentos con tratamientos (T*E) presentaron efectos significativos (Cuadro 11). Las fuentes que presentaron un mayor número de variables significativas (P≤0.05) fueron tratamientos y experimentos. En general, las variables GDT, NTP, PEP, PTP, MSF y MSR fueron las que presentaron efectos significativos en las tres fuentes de variación, estos resultados indican, que el comportamiento en los caracteres fenológicos, de rendimiento y acumulación de biomasa fueron afectados por la temporada (años), manejo del cultivo y la genética de las variedades (Mateus-Rodríguez *et al*., 2014).

Cuadro 11. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para las variables de fenología, rendimiento y biomasa en el cultivo de papa en condiciones de aeroponía.

Variables	Fuentes de variación				Error	CV (%)
	E	R (E)	T	T*E		
GDE	111994.00**	817.00	4322.00**	1723.00 ^{NS}	1357.00	10.95
GDT	22963.00**	4086.00	26414.00**	5919.00**	1369.00	7.29
GMF	486.00^{NS}	12546.00	8147.00 ^{NS}	18512.00 ^{NS}	11282.00	8.29
NTP	47.00*	5.00	71.00**	33.00**	7.00	35.83
DPP (mm)	221.06 ^{NS}	108.63	341.05**	451.62**	78.21	15.83
DEP (mm)	533.85**	35.20	162.67**	55.61 ^{NS}	29.67	15.08
PEP (g)	3159.90**	317.01	1594.60**	510.48*	167.72	24.76
PTP (g)	57789.60*	8036.78	12087.57 ^{NS}	25143.05*	9495.25	29.60
ALP (m)	6.19**	0.05	0.07 ^{NS}	0.06^{NS}	0.04	16.53
MSF (g)	3096.78**	43.83	518.91**	360.71**	54.86	34.04
LOR (m)	0.01 ^{NS}	0.01	0.20*	0.08 ^{NS}	0.07	20.21
MSR (g)	153.25**	5.46	30.23**	21.35**	2.55	30.45
LOT (m)	5.63**	0.05	0.37*	0.19 ^{NS}	0.13	14.49
MST (g)	113.08*	22.20	271.35**	148.38 ^{NS}	21.62	26.31

NS; *; **: No significativo y significativo a una $P \leq 0.05$ y 0.01, respectivamente.
CV: coeficiente de variación; E: experimentos; R (E): repeticiones dentro de experimentos; T: tratamientos; GDE: grados día a inicio de estoloneo; GDT: grados día a inicio de tuberización; GMF: grados día a madurez fisiológica del tubérculo; NTP: número de tubérculos por planta; DPP: diámetro polar por planta; DEP: diámetro ecuatorial por planta; PEP: peso promedio de tubérculos por planta; PTP: peso total de tubérculos por planta; ALP: altura de planta; LOR: longitud de raíz; LOT: longitud total por planta; MSF: materia seca foliar por planta; MSR: materia seca de raíz; MST: materia seca total por planta.

El experimento establecido durante el ciclo verano-otoño 2022 registró 7 % mayor PTP en comparación con el de primavera-verano 2023 (Cuadro 12). Entre los componentes que más contribuyeron al rendimiento fueron DEP (17 %) y PEP (32 %). El ciclo 2023 se caracterizó por haber registrado mayor LOT (25 %), MSF (64 %), MSR (58 %) y MST (25 %), lo que no se reflejó en el rendimiento final. En la presente investigación se observó que el diámetro ecuatorial y peso promedio del tubérculo favorecieron el rendimiento, resultados que concuerdan con lo reportado por Morales-Fernández et al. (2018) en condiciones de invernadero, así mismo, pudo apreciarse que los caracteres de biomasa se vieron afectados por las condiciones climáticas registradas durante los dos experimentos, lo que concuerda con Mateus-Rodríguez et al. (2014) al indicar que las temperaturas pueden afectar de manera significativa la producción de biomasa, aunque otros autores mencionan que este carácter puede ser influenciado por la capacidad genética de las variedades (Tiwari et al., 2020).

Cuadro 12. Comparación de medias para las variables de fenología, rendimiento y biomasa del cultivo de papa en condiciones de aeroponía, ciclos verano-otoño 2022 y primavera-verano 2023.

EXPERIMENTOS	GDE	GDT	GMF	NTP	DPP (mm)	DEP (mm)	PEP (g)
Verano-otoño 2022	304.00 b[z]	485.00 b	1285.00 a	7.00 b	54.80 a	38.80 a	63.10 a
Primavera-verano 2023	400.00 a	535.00 a	1271.00 a	8.00 a	57.30 a	32.20 b	43.00 b
DMSH	19.20	47.30	27.00	2.00	6.10	3.50	11.70
	PTP (g)	**ALP (m)**	**MSF (g)**	**LOR (m)**	**MSR (g)**	**LOT (m)**	**MST (g)**
	320.40 a	0.90 b	12.00 b	1.30 a	3.30 b	2.20 b	15.30 b
	297.90 b	1.60 a	33.40 a	1.30 a	7.70 a	2.90 a	20.50 a
	3.30	0.20	4.90	0.10	1.70	0.10	3.50

[z]Valores con la misma letra dentro de columnas, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una P≤0.05.
DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.
GDE: grados día a inicio de estoloneo; GDT: grados día a inicio de tuberización; GMF: grados día a madurez fisiológica del tubérculo; NTP: número de tubérculos por planta; DPP: diámetro polar por planta; DEP: diámetro ecuatorial por planta; PEP: peso promedio de tubérculos por planta; PTP: peso total de tubérculos por planta; ALP: altura de planta; LOR: longitud de raíz; LOT: longitud total por planta; MSF: materia seca foliar por planta; MSR: materia seca de raíz; MST: materia seca total por planta.

En promedio, de los ocho tratamientos evaluados en los dos experimentos ciclos 2022 y 2023, la variable PTP tuvo un comportamiento similar (Cuadro 13), resultados que muestran el ajuste que realizaron las variedades cuando fueron sometidas a la poda de estolones, ya que, con esta práctica, se favoreció el DEP (20 %) en el tratamiento de Orchestra, canastilla y poda, además del PEP (43 %) en Orchestra, unicel y poda; a diferencia de los tratamientos sin poda, y en los que el mejor atributo fue el NTP (56 %). Dichos componentes fueron los responsables de que no observaran diferencias entre tratamientos (P≤0.05), al respecto, algunos estudios destacan la importancia del número y peso de tubérculos por planta, como principales factores que definen el rendimiento en condiciones de invernadero (Morales-Fernández *et al*., 2018) y en aeroponía (Farran & Mingo-Castel, 2006).

Los tratamientos de Fianna sin poda fueron los que presentaron mayor ALP (18 %), LOT (14 %) y acumulación de MSF (66 %), MSR (65 %) y MST (58 %) en comparación con aquellos en donde se realizó la poda (Cuadro 13). En este sentido, Ritter *et al*. (2001), indican que la acumulación de biomasa en gran medida puede ser atribuida al carácter genético de las variedades, lo que se observó en la presente investigación, ya que Fianna fue superior a Orchestra. Así mismo, Mateus-Rodríguez *et al*. (2014) han puesto de manifiesto

la variación en la altura que pueden exhibir las variedades al ser sometidas a diferentes condiciones ambientales.

Cuadro 13. Comparación de medias para las variables de fenología, rendimiento y biomasa del cultivo de papa en condiciones de aeroponía, promedio de tratamientos de los ciclos verano-otoño 2022 y primavera-verano 2023.

FACTORES			GDE	GDT	GMF	NTP	DPP (mm)	DEP (mm)	PEP (g)
VARIEDAD	SOPORTE	PODA (%)							
ORCHESTA	CAN	50	317.00 bcd[Z]	425.00 b	1283.00 a	5.00 c	64.69 a	42.62 a	73.51 ab
ORCHESTA	CAN	0	302.00 cd	417.00 b	1228.00 a	6.00 bc	60.02 a	38.44 abc	63.95 abc
ORCHESTA	UNI	50	281.00 d	427.00 b	1274.00 a	5.00 bc	61.66 a	40.49 ab	79.85 a
ORCHESTA	UNI	0	323.00 abcd	453.00 b	1237.00 a	7.00 bc	56.52 a	41.07 ab	57.42 abcd
FIANNA	CAN	50	349.00 abc	561.00 a	1279.00 a	6.00 bc	54.22 a	31.35 c	46.69 bcde
FIANNA	CAN	0	353.00 abc	584.00 a	1300.00 a	11.00 ab	50.87 a	32.78 bc	44.16 cde
FIANNA	UNI	50	369.00 ab	567.00 a	1344.00 a	6.00 bc	52.43 a	33.86 abc	36.43 de
FIANNA	UNI	0	381.00 a	576.00 a	1286.00 a	15 a	48.52 a	30.39 c	25.76 e
DMSH			62.00	98.00	183.00	7.00	17.39	8.34	27.38
			PTP (g)	ALP (m)	MSF (g)	LOR (m)	MSR (g)	LOT (m)	MST (g)
			339.95 a	1.10 abc	10.20 b	1.09 a	2.64 b	2.18 ab	10.78 bc
			308.98 a	0.95 c	10.76 b	1.37 a	2.14 b	2.32 ab	9.34 c
			390.83 a	0.99 bc	9.86 b	1.14 a	2.42 b	2.12 b	8.81 c
			332.33 a	1.03 abc	11.20 b	1.19 a	3.20 b	2.22 ab	10.99 bc
			268.80 a	1.12 abc	28.95 ab	1.37 a	5.65 ab	2.50 ab	20.03 abc
			288.22 a	1.32 a	29.80 ab	1.45 a	6.93 ab	2.77 a	25.60 a
			393.55 a	1.28 ab	31.03 ab	1.45 a	7.22 ab	2.73 ab	23.64 ab
			310.74 a	1.21 abc	34.77 a	1.48 a	10.00 a	2.70 ab	27.05 a
			212.57	0.32	22.41	0.44	5.26	0.61	14.27

[Z]Valores con la misma letra dentro de columnas, son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una P≤0.05.
DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.
CAN: canastilla; UNI: unicel; GDE: grados día a inicio de estoloneo; GDT: grados día a inicio de tuberización; GMF: grados día a madurez fisiológica del tubérculo; NTP: número de tubérculos por planta; DPP: diámetro polar por planta; DEP: diámetro ecuatorial por planta; PEP: peso promedio de tubérculos por planta; PTP: peso total de tubérculos por planta; ALP: altura de planta; LOR: longitud de raíz; LOT: longitud total por planta; MSF: materia seca foliar por planta; MSR: materia seca de raíz; MST: materia seca total por planta.

El tratamiento de Fianna con soporte de unicel y poda de estolones con tubérculos recién diferenciados al 50 % en el ciclo 2022 tuvo 38 % mayor PTP con respecto a los demás tratamientos (Cuadro 14). En promedio, los componentes DPP y DEP fueron los que más contribuyeron al rendimiento, lo que concuerda con Morales-Fernández *et al.* (2018) al indicar que estos caracteres evaluados en condiciones de invernadero, fueron los que mayor aporte tuvieron con el PTP. No obstante, estos resultados difieren de lo obtenido por Ritter *et al.* (2001) en condiciones de aeroponía, ya que ellos obtuvieron 28 % más de lo obtenido en la presente investigación, lo que pudo ser debido a la técnica de producción (minitubérculos) y a las condiciones climáticas específicas requeridas para el cultivo. Cabe

destacar, que, si bien en este trabajo el número de tubérculos por planta fue menor a otras investigaciones, estos fueron de mayor tamaño, atribuido al efecto de variedades y la poda de tubérculos (Farran y Mingo-Castel, 2006; López-Gómez *et al.,* 2020; Ramírez-Morales *et al.*, 2023; Tunio *et al.,* 2020).

En general el tratamiento de Fianna con soporte de unicel y sin poda en el ciclo 2023 fue el que presentó el mayor NTP (68 %) en comparación con los demás tratamientos. Los componentes que más contribuyeron con este carácter fueron ALP (44 %), LOT (37 %), MSF (74 %), MSR (73 %) y MST (61 %). En algunas investigaciones en condiciones de aeroponía se destaca la importancia de la biomasa en el incremento del número de tubérculos por planta, ya que este componente favorece a una mayor síntesis de carbohidratos los cuales se relacionan de manera directa en la formación y llenado de tubérculos (Mateus-Rodríguez *et al*., 2014; Otazú, 2010; Ritter *et al*., 2001), lo que en esta investigación le pudo haber favorecido a la variedad Fianna.

Cuadro 14. Comparación de medias de ocho tratamientos en dos experimentos para las variables de fenología, rendimiento y biomasa del cultivo de papa en condiciones de aeroponía.

Verano-otoño 2022	FACTORES			GDE	GDT	GMF	NTP	DPP (mm)	DEP (mm)	PEP (g)	PTP (g)	ALP (m)	MSF (g)	LOR (m)	MSR (g)	LOT (m)	MST (g)
	VARIEDAD	SOPORTE	PODA (%)														
	ORCHESTRA	CANASTILLA	50	282.00 ed[Z]	369.00 e	1269.00 a	5.00 b	64.79 abc	46.31 a	94.71 a	440.50 ab	0.92 c	11.37 c	1.16 a	3.17 de	2.08 cd	14.53 bcd
	ORCHESTRA	CANASTILLA	0	276.00 ed	413.00 de	1265.00 a	7.00 b	51.55 cd	39.98 abc	56.31 bcde	305.07 ab	0.83 c	8.17 c	1.40 a	1.47 e	2.23 bcd	9.63 cd
	ORCHESTRA	UNICEL	50	246.00 e	413.00 de	1257.00 a	5.00 b	52.00 bcd	40.23 abc	78.53 abc	378.10 ab	0.73 c	7.23 c	1.13 a	1.67 e	1.86 d	8.90 cd
	ORCHESTRA	UNICEL	0	293.00 cde	419.00 de	1204.00 a	8.00 b	57.90 abcd	44.67 ab	67.21 abcde	333.06 ab	0.83 c	9.53 c	1.28 a	3.10 de	2.10 cd	12.63 cd
	FIANNA	CANASTILLA	50	323.00 bcde	528.00 abcd	1265.00 a	5.00 b	49.97 cd	32.48 abcd	63.35 abcde	347.40 ab	0.83 c	8.50 c	1.23 a	2.40 de	2.06 cd	10.90 cd
	FIANNA	CANASTILLA	0	339.00 abcde	617.00 a	1370.00 a	11.00 b	51.42 cd	33.53 abcd	58.63 abcde	310.73 ab	1.13 bc	22.83 bc	1.46 a	6.10 bcde	2.60 abcd	28.93 ab
	FIANNA	UNICEL	50	343.00 abcde	590.00 a	1370.00 a	5.00 b	52.96 bcd	36.45 abc	44.75 bcdef	522.00 a	0.97 c	13.90 bc	1.44 a	4.17 cde	2.41 abcd	18.07 bcd
	FIANNA	UNICEL	0	328.00 bcde	535.00 abcd	1278.00 a	8.00 b	57.76 abcd	37.08 abc	41.48 cdef	246.53 ab	0.84 c	14.77 bc	1.43 a	3.90 cde	2.28 bcd	18.67 bcd
Primavera-verano 2023																	
	ORCHESTRA	CANASTILLA	50	404.00 ab	509.00 abcd	1317.00 a	5.00 b	64.51 abc	36.46 abc	52.31 bcde	239.40 ab	1.53 ab	8.45 c	0.89 a	1.85 e	2.43 abcd	5.15 d
	ORCHESTRA	CANASTILLA	0	367.00 abcd	425.00 cde	1132.00 a	5.00 b	74.13 ab	35.86 abcd	71.59 abcd	312.90 ab	1.25 bc	14.65 bc	1.30 a	3.15 de	2.55 abcd	8.90 cd
	ORCHESTRA	UNICEL	50	367.00 abcd	449.00 bcde	1317.00 a	5.00 b	77.77 a	40.92 abc	81.17 ab	403.55 ab	1.62 ab	13.80 bc	1.15 a	3.55 de	2.77 abcd	8.68 cd
	ORCHESTRA	UNICEL	0	396.00 abc	504.00 abcd	1317.00 a	7.00 b	54.21 bcd	35.23 abcd	47.62 bcdef	331.60 ab	1.55 ab	13.70 bc	0.95 a	3.35 de	2.50 abcd	8.53 cd
	FIANNA	CANASTILLA	50	391.00 abc	594.00 a	1300.00 a	6.00 b	59.54 abc	29.94 cd	34.20 def	190.20 b	1.61 ab	49.40 a	1.60 a	8.90 bc	3.21 ab	29.15 ab
	FIANNA	CANASTILLA	0	376.00 abcd	551.00 ab	1183.00 a	12.00 b	50.18 cd	31.85 bcd	33.30 ef	365.70 ab	1.62 ab	36.77 ab	1.42 a	7.77 bcd	3.04 abc	22.27 abc
	FIANNA	UNICEL	50	443.00 a	544.00 abc	1300.00 a	8.00 b	51.76 bcd	30.61 cd	30.19 ef	265.10 ab	1.79 a	48.17 a	1.46 a	10.27 b	3.25 ab	29.22 ab
	FIANNA	UNICEL	0	438.00 a	617.00 a	1300.00 a	21.00 a	36.96 d	22.03 d	13.97 f	374.95 ab	1.82 a	54.77 a	1.57 a	16.10 a	3.39 a	35.43 a
DMSH				105.90	123.00	305.50	8.00	22.48	13.85	38.27	301.49	0.54	24.64	0.77	5.31	1.02	15.47

[Z]Valores con la misma letra dentro de columnas, son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una P≤0.05.

DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

GDE: grados día a inicio de estoloneo; GDT: grados días a inicio de tuberización; GMF: grados día a madurez fisiológica del tubérculo; NTP: número de tubérculos por planta; DPP: diámetro polar por planta; DEP: diámetro ecuatorial por planta; PEP: peso promedio de tubérculos por planta; PTP: peso total de tubérculos por planta; ALP: altura de planta; LOR: longitud de raíz; LOT: longitud total por planta; MSF: materia seca foliar por planta; MSR: materia seca de raíz; MST: materia seca total por planta.

VII. CONCLUSIONES

La variación en el inicio de las etapas de estoloneo y tuberización ocurrida entre variedades no repercutió en el rendimiento.

El efecto de variedad y poda de estolones con tubérculos recién formados al 50 % generaron un mayor peso promedio, diámetro y homogeneidad en el tamaño de los tubérculos. La variedad Orchestra con poda fue la que tuvo los mejores atributos de rendimiento y sus componentes.

La práctica de poda y efecto de variedad fueron los factores que favorecieron el número de tubérculos por planta y la acumulación de biomasa, en la variedad de Fianna sin poda sin que esto repercutiera en el rendimiento.

El ciclo verano otoño 2022 presento el mejor rendimiento.

VIII. LITERATURA CITADA

Abelenda, J. A., Navarro, C., & Prat, S. (2014). Flowering and tuberization: a tale of two nightshades. *Trends in Plant Science*, *19*(2), 115–122. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2013.09.010

AlShrouf, A. (2017). Hydroponics, aeroponic and aquaponic as compared with conventional farming. *Am. Sci. Res. J. Eng. Technol. Sci*, *27*(1), 247–255.

Ames, M., & Spooner, D. M. (2008). DNA from herbarium specimens settles a controversy about origins of the European potato. *American Journal of Botany*, *95*(2), 252–257. https://doi.org/10.3732/ajb.95.2.252

Andrade-Piedra, J. L., Kromann, P., & Otazú, V. (2015). *Manual para la producción de semilla de papa usando aeroponía: diez años de experiencias en Colombia, Ecuador y Perú.* https://doi.org/10.4160/9789290604556

Arsenault, W. J., & Christie, B. R. (2004). Effect of whole seed tuber size and pre-plant storage conditions on yield and tuber size distribution of Russet Burbank. *American Journal of Potato Research*, *81*, 371–376. https://doi.org/10.1007/BF02870197

Ávila-Valdés, A., Quinet, M., Lutts, S., Martínez, J. P., & Lizana, X. C. (2020). Tuber yield and quality responses of potato to moderate temperature increase during Tuber bulking under two water availability scenarios. *Field Crops Research*, *251*, 107786. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107786

Barak, P., Smith, J. D., Krueger, A. R., & Peterson, L. A. (1996). Measurement of short-term nutrient uptake rates in cranberry by aeroponics. *Plant, Cell & Environment*, *19*(2), 237–242. https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1996.tb00246.x

Benítez, J., & Montesdeoca, F. (2015). *Manejo del cultivo aeropónico de papa*. https://doi.org/10.4160/9789290604556

Berg, R. G. van den, & Groendijk-Wilders, N. (2014). Taxonomy. In *The potato: botany, production and uses* (pp. 12–28). CABI Wallingford UK.

Buckseth, T., Sharma, A. K., Pandey, K. K., Singh, B. P., & Muthuraj, R. (2016). Methods of pre-basic seed potato production with special reference to aeroponics-a review. *Sci Horti*, *204*. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.03.041

Burrage, S. W. (1998). Soilless culture and water use efficiency for greenhouses in arid, hot climates. *International Workshop on Protected Agriculture in the Arabian Peninsula, Doha (Qatar), 15-18 Feb 1998*. https://agris.fao.org/search/en/providers/122511/records/647234a5e17b74d2224eaa3d

Çalışkan, M. E., Yavuz, C., Yağız, A. K., Demirel, U., & Çalışkan, S. (2021). Comparison of Aeroponics and Conventional Potato Mini Tuber Production Systems at Different Plant Densities. *Potato Research*, *64*(1), 41–53. https://doi.org/10.1007/s11540-020-09463-z

Carter, W. A. (1942). A method of growing plants in water vapor to facilitate examination of roots. *Phytopathology*, *32*(7), 623–625.

Chappa, N. J. A. (2021). Comportamiento productivo y viabilidad económica de *Solanum tuberosum* var. Huayro proveniente de cultivo in vitro en dos sistemas de producción de semilla prebásica en Luya Viejo-Amazonas. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza-UNTRM. https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.902

Chang, D. C., Park, C. S., Kim, S. Y., & Lee, Y. B. (2012). Growth and tuberization of hydroponically grown potatoes. *Potato Research*, *55*, 69–81. https://doi.org/10.1007/s11540-012-9208-7

Chiipanthenga, M., Maliro, M., Demo, P., & Njoloma, J. (2012). Potential of aeroponics system in the production of quality potato (*Solanum tubersoum* L.) seed in developing countries. *Afr J Biotechnol*, *11*. https://doi.org/10.5897/AJB10.1138

Christie, C. B., & Nichols, M. A. (2003). Aeroponics-a production system and research tool. *South Pacific Soilless Culture Conference-SPSCC 648*, 185–190. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.648.22

Contreras, A., & Castro, I. (2008). *Catálogo de variedades de papas nativas de Chile*.

Dahal, K., Li, X.-Q., Tai, H., Creelman, A., & Bizimungu, B. (2019). Improving potato stress tolerance and tuber yield under a climate change scenario–a current overview. *Frontiers in Plant Science*, *10*, 563. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00563

de Haan, S., & Rodriguez, F. (2016). Potato origin and production. In *Advances in potato chemistry and technology* (pp. 1–32). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800002-1.00001-7

Dutt, S., Manjul, A. S., Raigond, P., Singh, B., Siddappa, S., Bhardwaj, V., Kawar, P. G., Patil, V. U., & Kardile, H. B. (2017). Key players associated with tuberization in potato: potential candidates for genetic engineering. *Critical Reviews in Biotechnology*, *37*(7), 942–957. https://doi.org/10.1080/07388551.2016.1274876

Factor, T. L., Araujo, J. A. C., Kawakami, F. P. C., & Iunck, V. (2007). Produçao de minituberculos basicos de batata em tres sistemas hidroponicos. *Hortic Bras*, *25*. https://doi.org/10.1590/S0102-05362007000100016

Fahad, S., Bajwa, A. A., Nazir, U., Anjum, S. A., Farooq, A., Zohaib, A., Sadia, S., Nasim, W., Adkins, S., & Saud, S. (2017). Crop production under drought and heat stress: plant responses and management options. *Frontiers in Plant Science*, 1147. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01147

Farran, I., & Mingo-Castel, A. M. (2006). Potato minituber production using aeroponics: effect of plant density and harvesting intervals. *Am J Potato Res*, *83*. https://doi.org/10.1007/BF02869609

Fleisher, D. H., Condori, B., Quiroz, R., Alva, A., Asseng, S., Barreda, C., Bindi, M., Boote, K. J., Ferrise, R., & Franke, A. C. (2017). A potato model intercomparison across varying climates and productivity levels. *Global Change Biology*, *23*(3), 1258–1281. https://doi.org/10.1111/gcb.13411

García, D. R. S., Valdez, L. A. A., Ramírez, H. R., Zermeño, A. G., & Cadena, M. Z. (2021). Producción de mini tubérculos de papa en aeroponía en comparación con suelo y polvo de coco. *Terra Latinoamericana*, *39*. https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.902

Ghislain, M., Andrade, D., Rodríguez, F., Hijmans, R. J., & Spooner, D. M. (2006). Genetic analysis of the cultivated potato *Solanum tuberosum* L. Phureja Group using RAPDs and nuclear SSRs. *Theoretical and Applied Genetics*, *113*, 1515–1527. https://doi.org/10.1007/s00122-006-0399-7

Gopinath, P., Vethamoni, P. I., & Gomathi, M. (2017). Aeroponics soilless cultivation system for vegetable crops. *Chem. Sci. Rev. Lett*, *6*(22), 838–849. https://www.academia.edu/download/77542010/V6i22_30_CS072048042_Irene_838-849.pdf.

Graves, C. (2001). The Potato, Treasure of the Andes. *From Agriculture to Culture. IPC, Lima, Peru. (In This Enchanting Book Scientists, Students, and Everybody Who Is Interested in History, Science, Social and Cultural Impacts of Potato*.

Hancock, R. D., Morris, W. L., Ducreux, L. J. M., Morris, J. A., Usman, M., Verrall, S. R., Fuller, J., Simpson, C. G., Zhang, R., & Hedley, P. E. (2014). Physiological, biochemical and molecular responses of the potato (*Solanum tuberosum* L.) plant to moderately elevated temperature. *Plant, Cell & Environment*, *37*(2), 439–450. https://doi.org/10.1111/pce.12168

Harris, G. F., & Niha, P. P. (1999). *Nga riwai: Maori potatoes.* http://hdl.handle.net/11072/1195

Hatfield, J. L., & Prueger, J. H. (2015). Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes*, *10*, 4–10. https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.08.001

Hawkes, J. G. (1990). *The potato: evolution, biodiversity and genetic resources.* Belhaven Press.

Hawkes, J. G. (1994). Origins of cultivated potatoes and species relationships. *Potato Genetics.*, 3–42.

Hawkes, J. G., & J. Francisco-Ortega. (1992). The Potato in Spain during the Late 16th Century. Economic Botany, 46(1), 86–97. http://www.jstor.org/stable/4255411

Hawkes, J. G., & Francisco-Ortega, J. (1993). The early history of the potato in Europe. *Euphytica*, *70*, 1–7. https://doi.org/10.1007/BF00029633

Hosaka, K. (2003). T-type chloroplast DNA in Solarium tuberosum L. ssp. tuberosum was conferred from some populations of S. tarijense Hawkes. *American Journal of Potato Research*, *80*, 21–32. https://doi.org/10.1007/BF02854553

Huera, B. G. A. (2016). *Estudio económico de la producción de semilla pre-básica de papa (Solanum tuberosum l.) mediante el sistema aeropónico en la granja experimental Yuyucocha, en la parroquia Caranqui, cantón Ibarra*.

Hussey, G., & Stacey, N. J. (1981). In vitro propagation of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Annals of Botany*, *48*(6), 787–796. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a086186

Iritani, W. M., Weiler, L. D., & Knowles, N. R. (1983). Relationships between stem number, tuber set and yield of Russet Burbank potatoes. *American Potato Journal*, *60*, 423–431. https://doi.org/10.1007/BF02877248

Jones, J. B., Wolf, B., & Mills, H. A. (1991). *Plant analysis handbook. Micro*. Macro Publishing, Inc., Athens, GA.

Kim, H. S., Lee, E. M., Lee, M. A., Woo, I. S., Moon, C. S., Lee, Y. B., & Kim, S. Y. (1999). Production of high-quality potato plantlets by autotrophic culture for aeroponic systems. *J. Korean Soc. Hort. Sci*, *123*, 330–333.

Kiple, K. F., & Ornelas, K. C. (2000). *The Cambridge world history of food* (Vol. 2). Cambridge University Press.

Klinger, D., & Naylor, R. (2012). Searching for solutions in aquaculture: charting a sustainable course. *Annual Review of Environment and Resources*, *37*, 247–276. https://doi.org/10.1146/annurev-environ-021111-161531

Lakhiar, I. A., Gao, J., Syed, T. N., Chandio, F. A., & Buttar, N. A. (2018). Modern plant cultivation technologies in agriculture under controlled environment: a review on aeroponics. *Journal of Plant Interactions*, *13*(1), 338–352. https://doi.org/10.1080/17429145.2018.1472308

Lakkireddy, K. K. R., Kasturi, K., & Sambasiva Rao, K. R. S. (2012). Role of hydroponics and aeroponics in soilless culture in commercial food production. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *1*(3), 1–8. https://www.researchgate.net/publication/234118878

Lal, M. K., Tiwari, R. K., Kumar, A., Dey, A., Kumar, R., Kumar, D., Jaiswal, A., Changan, S. S., Raigond, P., & Dutt, S. (2022). Mechanistic concept of physiological, biochemical, and molecular responses of the potato crop to heat and drought stress. *Plants*, *11*(21), 2857. https://doi.org/10.3390/plants11212857

Liao, X., Su, Z., Liu, G., Zotarelli, L., Cui, Y., & Snodgrass, C. (2016). Impact of soil moisture and temperature on potato production using seepage and center pivot irrigation. *Agricultural Water Management*, *165*, 230–236. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.10.023

Lizana, X. C., Avila, A., Tolaba, A., & Martinez, J. P. (2017). Field responses of potato to increased temperature during tuber bulking: Projection for climate change scenarios, at high-

yield environments of Southern Chile. *Agricultural and Forest Meteorology*, *239*, 192–201. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.03.012

López-Gómez, J. D., Sotelo Nava, H., Villegas-Torres, O. G., & Andrade Rodríguez, M. (2020). Rendimiento y calidad del chile habanero en respuesta a la poda de conducción y régimen nutrimental. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *11*(2), 315–325. https://doi.org/10.29312/remexca.v11i2.1777

Lutaladio, N., & Castaldi, L. (2009). Potato: The hidden treasure. *Journal of Food Composition and Analysis*, *22*(6), 491–493. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2009.05.002

Lynch, D. R., Kozub, G. C., & Kawchuk, L. M. (2001). The relationship between yield, mainstem number, and tuber number in five maincrop and two early maturing cultivars. *American Journal of Potato Research*, *78*, 83–90. https://doi.org/10.1007/BF02874763

Lynch, D. R., & Tai, G. C. C. (1989). Yield and yield component response of eight potato genotypes to water stress. *Crop Science*, *29*(5), 1207–1211. https://doi.org/10.2135/cropsci1989.0011183X002900050024x

Manzur, M. (2012). Catálogo de Semillas Tradicionales de Chile. *Fundación Sociedades Sustentables*.

Martínez, E., Altisent, J. M. D., & Gracia, L. M. N. (2000). Los cultivos sin suelo: de la hidroponía a la aeroponía (I). *Vida Rural*, *101*, 40–43. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_vrural/Vrural_2000_101_40_43.pdf

Mateus-Rodríguez, J., De Haan, S., Barker, I., Chuquillanqui, C., & Rodríguez-Delfín, A. (2011). Response of three potato cultivars grown in a novel aeroponics system for mini-tuber seed production. *II International Symposium on Soilless Culture and Hydroponics 947*, 361–367. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.947.46

Mateus-Rodriguez, J. F., De Haan, S., & Rodríguez-Delfín, A. (2014). Genotype by environment effects on Potato mini-tuber seed production in an aeroponics system. *Agronomy*, *4*(4), 514–528. https://doi.org/10.3390/agronomy4040514

Mejía, G. M., & Castellanos, J. A. S. (2018). Costos de producción y rentabilidad del cultivo de la papa en Zacapoaxtla, Puebla. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *9*(8), 1651–1661. https://doi.org/10.29312/remexca.v9i8.1721

Milton, P. J., & Allen, S. D. (1995). Breeding field crops. *Iowa State University*.

Millán López, N. T., Zazueta Beltrán, H. G., Díaz Valdés, T., & Fragoza Sánchez, U. (2018). Estrategias innovadoras de producción y comercialización de papa en el noroeste de México. *Cofin Habana*, *12*(1), 256-267.

Mithunesh, P., Gupta, K., Ghule, S., & Hule, S. (2015). Aeroponic based controlled environment-based farming system. *IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE)*, *17*(6), 55–58. https://doi.org/10.9790/0661-176XXXXX

Morales-Fernández, S. D., Mora-Aguilar, R., Salinas-Moreno, Y., Rodríguez-Pérez, J. E., Colinas-León, M. T., & Lozoya-Saldaña, H. (2018). Growth and sugar content of potato tubers in four maturity stages under greenhouse conditions. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, *24*(1), 53–67. https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2016.11.029

Nasir, M. W., & Toth, Z. (2022). Effect of drought stress on potato production: A review. *Agronomy*, *12*(3), 635. https://doi.org/10.3390/agronomy12030635

Naville, E. (1894). *The temple of Deir el Bahari* (Vol. 12). Offices of the Egypt exploration fund. http://jhir.library.jhu.edu/handle/1774.2/35044

Nichols, M. A. (2005). *Proceedings of the First International Symposium on Root and Tuber Crops: Food Down Under: Palmerston North, New Zealand, February 9-12, 2004* (Issue 670). International Society for Horticultural Science.

Nunn, N., & Qian, N. (2008). Columbus's contribution to world population and urbanization: a natural experiment examining the introduction of potatoes. *Mimeogr., Harvard Univ*, *14*.

Obiero, C. O., Milroy, S. P., & Bell, R. W. (2019). Importance of whole plant dry matter dynamics for potato (*Solanum tuberosum* L.) tuber yield response to an episode of high temperature. *Environmental and Experimental Botany*, *162*, 560–571. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.04.001

Onamu, R., Legaria-Solano, J. P., Sahagún-Castellanos, J., Rodríguez-de-la, J. L., & Pérez-Nieto, J. (2015). Diversidad genética entre variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) cultivadas en México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, *38*(1), 7–15. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-73802015000100003&script=sci_arttext

Oraby, 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. https://doi.org/10.1007/s12230-015-9444-x

Otazú, V. (2010). *Manual de producción de semilla de papa de calidad usando aeroponía*. International Potato Center.

Peng, J., Manevski, K., Kørup, K., Larsen, R., Zhou, Z., & Andersen, M. N. (2021). Environmental constraints to net primary productivity at northern latitudes: A study across scales of radiation interception and biomass production of potato. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *94*, 102232. https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102232

Pino, M., Skinner, J. S., Park, E., Jeknić, Z., Hayes, P. M., Thomashow, M. F., & Chen, T. H. H. (2007). Use of a stress inducible promoter to drive ectopic AtCBF expression improves potato freezing tolerance while minimizing negative effects on tuber yield. *Plant Biotechnology Journal*, *5*(5), 591–604. https://doi.org/10.1111/j.1467-7652.2007.00269.x

Pulatov, B., Linderson, M.-L., Hall, K., & Jönsson, A. M. (2015). Modeling climate change impact on potato crop phenology, and risk of frost damage and heat stress in northern Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*, *214*, 281–292. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.08.266

Quispe, S. M., Chipana, S. Q., Guevara, J. E. V., Chuquillanqui, C., & Carriel, C. A. B. (2017). Factores asociados al crecimiento y producción de semilla pre-básica en diez variedades de papa nativas bajo el sistema aeropónico en Kishuara–Perú. *Revista Latinoamericana de La Papa*, *21*(2), 3. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6234728

Quispe-Valdez, F. M. (2021). *Comparativo de rendimiento y comportamiento fenológico de siete clones promisorios segregantes de qompis (Solanum tuberosum sub especie andígena), bajo condiciones del Centro Agronómico K'ayra*. http://hdl.handle.net/20.500.12918/6229

Ramírez-Morales, Z., Santiago-Martínez, G. M., Aragon-Robles, E., & García-Bautista, C. (2023). Efecto de podas en rendimiento de variedades de fresa (fragaria vesca l.) bajo manejo agroecológico en "la labor", miahuatlán, oaxaca. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, *10*, 32.

Reddy, B. J., Mandal, R., Chakroborty, M., Hijam, L., & Dutta, P. (2018). A review on potato (*Solanum tuberosum* L.) and its genetic diversity. *International Journal of Genetics, ISSN*, 975–2862. DOI: 10.9735/0975-2862.10.2.360-364

Ríos, D., Ghislain, M., Rodríguez, F., & Spooner, D. M. (2007). What is the origin of the European potato? Evidence from Canary Island landraces. *Crop Science*, *47*(3), 1271–1280. https://doi.org/10.2135/cropsci2006.05.0336

Ritter, E., Angulo, B., Riga, P., Herran, C., Relloso, J., & San Jose, M. (2001). Comparison of hydroponic and aeroponics cultivation systems for the production of potato minitubers. *Potato Res*, *44*. https://doi.org/10.1007/BF02410099

Robine, J.-M., Cheung, S. L. K., Le Roy, S., Van Oyen, H., Griffiths, C., Michel, J.-P., & Herrmann, F. R. (2008). Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *Comptes Rendus Biologies*, *331*(2), 171–178. https://doi.org/10.1016/j.crvi.2007.12.001

Rodríguez, A. (2015). Riqueza de papas silvestres (*Solanum* sección Petota) y patrones de distribución geográfica en México. *Agro Productividad*, *8*(1). https://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/631

Rodríguez, L. E. (2009). Teorías sobre la clasificación taxonómica de las papas cultivadas (*Solanum* L. sect. Petota Dumort.). Una revisión. *Agronomía Colombiana*, *27*(3), 305–312.

Rykaczewska, K. (2013). The impact of high temperature during growing season on potato cultivars with different response to environmental stresses. *American Journal of Plant Sciences*, *2013*. DOI:10.4236/ajps.2013.412295

Sabbagh-Sánchez, A., García-Salazar, J. A., Matus-Gardea, J. A., Jiménez-Sánchez, L., & Hernández Juárez, M. (2011). Comportamiento del consumo de papa (*Solanum tuberosum* L.) fresca en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *2*(4), 559–572. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342011000400007&script=sci_abstract&tlng=pt

Salaman, R. N., & Burton, W. G. (1985). *The history and social influence of the potato*. Cambridge University Press.

Salazar, S. S. P. (2021). Aeroponía: cultivo sin tierra. + *Ciencia*, *27*, 26–27. http://cte2.anahuac.mx/index.php/masciencia/article/view/938

Sánchez, O. F. B. (2019). *Elaboración de un Sistema Aeropónico con Energía Fotovoltaica para Producción Hortícola como Técnica de Cultivo Sostenible y Autosuficiente en El Ecosistema Urbano*. https://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/214

Sandhu, S. K., Kingra, P., & Kaur, S. (2018). Effect of climate change on productivity and disease scenario of potato-a review. *Journal of Agricultural Physics*, *18*(2), 141–157. https://www.researchgate.net/publication/337338269

Savvas, D., Gianquinto, G., Tuzel, Y., & Gruda, N. (2013). 12. Soilless culture. *Good Agricultural Practices for Greenhouse Vegetable Crops*, *303*.

Singh, S., & Singh, B. S. (2012). Hydroponics–A technique for cultivation of vegetables and medicinal plants II. *Proceedings of 4th Global Conference on Horticulture for Food, Nutrition and Livelihood Options. Bhubaneshwar, Odisha, India*, 220.

Spooner, D., Jansky, S., Clausen, A., Herrera, M. del R., & Ghislain, M. (2012). The enigma of *Solanum maglia* in the origin of the Chilean cultivated potato, *Solanum tuberosum* Chilotanum Group. *Economic Botany*, *66*, 12–21. https://doi.org/10.1007/s12231-012-9190-7

Spooner, D. M., Ghislain, M., Simon, R., Jansky, S. H., & Gavrilenko, T. (2014). Systematics, diversity, genetics, and evolution of wild and cultivated potatoes. *The Botanical Review*, *80*, 283–383. https://doi.org/10.1007/s12229-014-9146-y

Spooner, D. M., Nunez, J., Rodriguez, F., Naik, P. S., & Ghislain, M. (2005). Nuclear and chloroplast DNA reassessment of the origin of Indian potato varieties and its implications for the origin of the early European potato. *Theoretical and Applied Genetics*, *110*, 1020–1026. https://doi.org/10.1007/s00122-004-1917-0

Stoner, R., & Schorr, S. (1983). Aeroponics versus bed and hydroponic propagation [The process of propagating and growing plants in air]. *Florists' Review (USA)*.

Sun, Y., Cui, X., & Liu, F. (2015). Effect of irrigation regimes and phosphorus rates on water and phosphorus use efficiencies in potato. *Scientia Horticulturae*, *190*, 64–69. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.04.017

Tapia, M. E. (2007). *Guía de campo de los cultivos andinos* (Issue V353). FAO.

Thamburaj, S., & Singh, N. (2001). *Textbook of vegetables, tubercrops and spices*. Indian Council of Agricultural Research.

Tiwari, J. K., Devi, S., Buckseth, T., Ali, N., Singh, R. K., Zinta, R., Dua, V. K., & Chakrabarti, S. K. (2020). Precision phenotyping of contrasting potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties in a novel aeroponics system for improving nitrogen use efficiency: In search of key traits and genes. *Journal of Integrative Agriculture*, *19* (1), 51–61. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62625-0

Tsoka, O., Demo, P., Nyende, A. B., & Kamau, N. (2008). Seed Production of Selected Potato (*Solanum tuberosum* L) Clones under Aeroponic Conditions. *MSc. Dessertation. Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Jomo Kenyetta University of Agriculture and Technology, Nairobi, Kenya*.

Ugent, D., Dillehay, T., & Ramirez, C. (1987). Potato remains from a late Pleistocene settlement in southcentral Chile. *Economic Botany*, *41*, 17–27.

Vázquez, C. M. G., Rubio, C. O. A., Salinas, M. Y., & Santiago, R. D. (2012). Usos alternativos de la papa en el Estado de México. *INIFAP. CIRSE. CEVAMEX. México. Libro Técnico*, *15*, 114. https://doi.org/10.1007/BF02859340

Villordon, A., Clark, C., Ferrin, D., & LaBonte, D. (2009). Using growing degree days, agrometeorological variables, linear regression, and data mining methods to help improve prediction of sweetpotato harvest date in Louisiana. *HortTechnology*, *19*(1), 133–144. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.19.1.133

Waiba, K. M., Sharma, P., Sharma, A., Chadha, S., & Kaur, M. (2020). Soil-less vegetable cultivation: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, *9*(1), 631–636. https://www.phytojournal.com/archives?year=2020&vol=9&issue=1&ArticleId=10514

Wang, F. (2008). The importance of quality potato seed in increasing potato production in Asia and the Pacific region. *RAP Publication (FAO)*.

Watanabe, K. (2015). Potato genetics, genomics, and applications. *Breeding Science*, *65*(1), 53–68. https://doi.org/10.1270/jsbbs.65.53

Went, F. W. (1957). The experimental control of plant growth. *The Experimental Control of Plant Growth.*, *17*.

Zimmerer, K. S. (1991). Labor shortages and crop diversity in the southern Peruvian sierra. *Geographical Review*, 414–432. https://doi.org/10.2307/215608

Zvomuya, F., & Rosen, C. J. (2002). Biomass Partitioning and Nitrogen Use Efficiency of Superior'Potato Following Genetic Transformation for Resistance to Colorado Potato Beetle. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *127*(4), 703–709. https://doi.org/10.21273/JASHS.127.4.703

BUAP

Oficio No. FCAyP/206/2024

Belem Esmeralda Nolasco Pérez
Egresado del Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
P R E S E N T E

Con base en el dictamen emitido por el Dr. Sigfrido David Morales Fernández **(Director de Tesis)**, Dr. Armando Ibáñez Martínez (**Asesor**) y M.C. Fabiel Vázquez Cruz (**Asesor**) en su calidad de Consejo Particular, se autoriza la impresión de la tesis titulada:

"Desarrollo y rendimiento de papa como respuesta a la poda de estolones en condiciones de aeroponía"

Correspondiente a la Maestría en Recursos Fitógeneticos Potenciales para la Agricultura.

Sin otro particular por el momento, me despido reiterando a Usted mi más atenta y distinguida consideración.

A t e n t a m e n t e
"Pensar bien, para vivir mejor"
San Juan Acateno, Teziutlán, Pue., a 04 de Marzo de 2024.

Dr. Armando Ibáñez Martínez
Director de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias

c.c.p. - Archivo y Minutario
Dr. AIM/mlsm

Facultad de Ciencas Agrícolas y Pecuarias
Av. Universidad s/n San Juan Acateno
Teziutlán, Pue. C.P. 73965
231 312 29 33 y 233 318 00 17