

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA



**Evaluación del efecto del número de tallos en tres variedades de papa
(*Solanum tuberosum* L.) en el rendimiento de minitubérculos a partir de la
Generación 2 en invernadero.**

Por:

Br. Guardado Castaneda, María del Carmen

Ciudad Universitaria, abril 2021.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA



**Evaluación del efecto del número de tallos en tres variedades de papa
(*Solanum tuberosum* L.) en el rendimiento de minitubérculos a partir de la
Generación 2 en invernadero.**

Por:

Br. Guardado Castaneda, María del Carmen

Ciudad Universitaria, abril 2021.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA



**Evaluación del efecto del número de tallos en tres variedades de papa
(*Solanum tuberosum* L.) en el rendimiento de minitubérculos a partir de la
Generación 2 en invernadero.**

Por:

Br. Guardado Castaneda, María del Carmen

Requisito para optar al título de:

Ingeniera Agrónomo

Ciudad Universitaria, abril 2021.

UNIVERSIDAD DE ELSALVADOR

Rector:

Lic. M. Sc. Roger Armando Arias Alvarado

Secretario general:

M. Sc. Francisco Antonio Alarcón Sandoval

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

Decano:

Dr. Francisco Lara Ascencio

Secretario:

Ing. Agr. Balmore Martínez Sierra.

Jefe del Departamento de Fitotecnia

Ing. Agr. M. Sc. Fidel Ángel Parada Berrios

Docentes directores:

Ing. Agr. Mario Alfredo Pérez Ascencio

Dr. Francisco Lara Ascencio

Coordinador General de procesos de graduación

Ing. Agr. Mario Alfredo Pérez Ascencio

RESUMEN

La investigación se realizó en el período de septiembre 2019 a febrero de 2020, en el invernadero de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, la cual se encuentra ubicada en el municipio de San Salvador, departamento de San Salvador, a una elevación de 750 metros sobre el nivel del mar, con coordenadas geográficas latitud 13°43'7.68" N, longitud 89°12'1.53" W.

El estudio consistió en evaluar el efecto del número de tallos (dos, tres y cuatro tallos) y un testigo en tres variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) "Atlanta", "Granola" y "Soloma", en el rendimiento de minitubérculos de la Generación 2, aplicando la técnica de hidroponía en invernadero, con el propósito de producir semilla básica.

En la investigación se utilizó un Diseño de Bloques Completos al Azar con arreglo Bifactorial, con 12 tratamientos distribuidos en cuatro repeticiones al azar; se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey y para el análisis de los resultados se utilizó el software estadístico InfoStat versión estudiantil.

En la fase vegetativa se evaluó el diámetro del tallo, número de hojas y altura de la planta; en la fase reproductiva la producción de minitubérculos, número de tubérculos por planta, diámetro ecuatorial de los mini tubérculos y peso promedio de los tubérculos. Los minitubérculos se clasificaron de acuerdo al peso en las siguientes categorías: primera, segunda, tercera y cuarta, además se contabilizó la producción obtenida en un metro cuadrado.

Los resultados obtenidos mostraron que la variedad de papa Atlanta presentó el mejor rendimiento con un peso promedio de los minitubérculos de 317.81 g, y el mayor número de minitubérculos se obtuvo con la variedad Soloma con una media de 36.38 minitubérculos por planta.

Palabras claves: variedad Atlanta, variedad Granola, variedad Soloma, papa, número de tallos, minitubérculos, categorías, El Salvador, hidroponía, semilla básica.

ABSTRAC

The research was carried out in the period from September 2019 to February 2020, in the greenhouse of the Faculty of Agronomic Sciences of the University of El Salvador, which is located in the municipality of San Salvador, department of San Salvador, at a elevation of 750 meters above sea level, with geographic coordinates latitude 13 ° 43'7.68 "N, longitude 89 ° 12'1.53" W.

The study consisted of evaluating the effect of the number of stems (two, three and four stems) and a control in three potato varieties (*Solanum tuberosum* L.) "Atlanta", "Granola" and "Soloma", on the yield of minitubers of Generation 2, applying the greenhouse hydroponics technique, with the purpose of producing basic seed.

The research used a Random Complete Blocks Design with a Bifactorial arrangement, with 12 treatments distributed in four random repetitions; The Tukey mean comparison test was applied and the statistical software InfoStat student version was used for the analysis of the results.

In the vegetative phase, the diameter of the stem, number of leaves and height of the plant were evaluated; in the reproductive phase the production of minitubers, number of tubers per plant, equatorial diameter of the mini tubers and average weight of the tubers. The minitubers were classified according to weight in the following categories: first, second, third and fourth, in addition the production obtained in one square meter was counted.

The results obtained showed that the Atlanta potato variety presented the best performance with an average weight of the minitubers of 317.81 g, and the highest number of minitubers was obtained with the Soloma variety with an average of 36.38 minitubers per plant.

Keywords: Atlanta variety, Granola variety, Soloma variety, potato, number of stems, minitubers, categories, El Salvador, hydroponics, basic seed.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por guiarme en el camino correcto de la vida, así mismo fortaleciendo mi capacidad de aprendizaje.

A mi familia, por creer y confiar siempre en mí, apoyándome en todas las decisiones, y por brindarme su amor incondicional.

A mis asesores de tesis Ing. Mario Alfredo Pérez Ascencio y Dr. Francisco Lara Ascencio por el aporte académico y científico que me brindaron, por compartir sus conocimientos, orientaciones, consejos y paciencia en toda la investigación.

Al Comité Observador Ing. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia e Ing. Agr. Balmore Martínez Sierra, por apoyarme en el proceso de investigación.

A mis amigos Sony Cortez, Rosa Carmona y Xiomara Ramos, por enseñarme que son mi familia y que siempre estarán para apoyarme y motivarme en cada paso de mi vida.

A nuestra Alma Mater, por ser la mejor institución para la formación de profesionales y que me ha permitido crecer en ella a lo largo de mi carrera, con la ayuda de todos los docentes que año con año me formaron para que hoy día sea una profesional de bien y servir a la sociedad.

María del Carmen Guardado Castaneda

DEDICATORIA

A Dios todopoderoso, por haberme proporcionado fuerza, sabiduría y conocimiento en el transcurso de mi vida personal, académica, y permitirme alcanzar mi meta profesional.

A mis padres Juan Guardado Calles y María Castaneda Vides por su apoyo incondicional en lo personal y económico, por brindarme sus consejos, su comprensión, paciencia y sabios consejos.

A la familia Martínez Escobar, por siempre apoyarme y brindarme sus muestras de cariño motivándome a nunca darme por vencida.

A mis hermanos Mauricio Castaneda, Juan Castaneda y Luis Castaneda, porque no hubiese sido posible culminar mi carrera sin sus apoyos incondicionales, me han dado una gran muestra de cariño al estar juntos y siempre pendientes de mí.

A mis amigos y compañeros, por brindarme su amistad, experiencia, conocimientos y su apoyo en mi desarrollo académico y personal.

A cada uno de ustedes gracias totales.

María del Carmen Guardado Castaneda

INDICE GENERAL

Contenido	Página
RESUMEN.....	iv
ABSTRAC.....	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
INDICE GENERAL.....	viii
INDICE DE CUADROS.....	xi
INDICE DE FIGURAS.....	xii
INDICE DE ANEXO.....	xiv
1. INTRODUCCION.....	1
2. REVISION BIBLIOGRAFICA.....	3
2.1. Origen del cultivo de papa.....	3
2.2. Importancia nutricional del cultivo de papa.....	3
2.3. Descripción botánica del cultivo de papa.....	4
2.4. Morfología de la papa.....	4
2.4.1. Raíz.....	4
2.4.2. Tallos.....	4
2.4.3. Hojas.....	5
2.4.4. Inflorescencia.....	5
2.4.5. Frutos.....	5
2.4.6. Semillas.....	5
2.5. Etapas fenológicas de la papa.....	5
2.6. Número de tallos en el cultivo de papa.....	6
2.7. Variedades de papa.....	7
2.8. Influencia del tamaño de los minitubérculos en el número de brotes.....	7
2.8.1. Tubérculo semilla pequeño.....	7
2.8.2. Tubérculo semilla grande.....	8
2.9. Contenido de azúcares.....	8
2.10. La luz en las plantas.....	9
2.10.1. Factores lumínicos que afectan al crecimiento de las plantas.....	9
2.10.2. Unidades lux.....	11
2.11. Cultivo en invernadero.....	11
2.11.1. Hidroponía.....	12

2.11.2. Sustratos	12
2.12. Potencial de hidrógeno	13
2.13. Conductividad eléctrica (mS/cm)	13
2.14. Requerimientos nutricionales	14
2.14.1. Absorción de nutrientes en la planta.....	14
3. MATERIALES Y METODOS	16
3.1. Descripción del lugar de estudio.....	16
3.2. Metodología de campo	16
3.2.1. Procedencia y selección de la semilla	17
3.2.2. Siembra.....	17
3.2.3. Fertilización del cultivo	17
3.2.4. Toma de la intensidad lumínica	20
3.2.5. Proceso de curado	20
3.2.6. Cosecha y clasificación de los mini tubérculos	20
3.3. Metodología estadística	21
3.3.1. Diseño estadístico	21
3.3.2. Tratamientos en estudio	21
3.3.3. Modelo estadístico.....	22
3.3.4. Prueba estadística.....	22
3.4. Variables morfológicas	23
3.5. Variables de producción	23
4. RESULTADOS Y DISCUSION	24
4.1. Fase vegetativa.....	24
4.1.1. Diámetro del tallo	24
4.1.2. Diámetro del tallo con diferente número de tallo.....	25
4.1.3. Interacción entre variedad y número de tallos	26
4.1.4. Número de hojas	27
4.1.5. Número de hojas con diferente número de tallo.....	29
4.1.6. Interacción entre variedad y número de tallos.....	30
4.1.7. Altura de la planta	31
4.1.8. Altura de la planta con diferente número de tallos.....	32
4.1.9. Interacción entre variedad y número de tallos.....	33
4.2. Fase reproductiva	34
4.2.1. Número de minitubérculos por variedad de papa	35

4.2.2. Número de minitubérculos con diferente número de tallos.....	36
4.2.3. Interacción de minitubérculos variedad y número de tallos.....	37
4.2.4. Número de minitubérculos por planta	38
4.2.5. Número de minitubérculos por planta con diferentes números de tallo	39
4.2.6. Interacción de minitubérculos variedad y número de tallos.....	40
4.2.7. Número de minitubérculos por tallo	41
4.2.8. Número de minitubérculos por tallo con diferentes números de tallo	42
4.2.9. Interacción de minitubérculos variedad y número de tallos.....	43
4.2.10. Peso de los minitubérculos.....	44
4.2.11. Peso de minitubérculos con diferente número de tallos.....	46
4.2.12. Interacción del peso de minitubérculos.....	47
4.2.13. Diámetro de los minitubérculos.....	49
4.2.14. Diámetro de los minitubérculos con diferente número de tallo.....	50
4.2.15. Interacción de diámetro minitubérculos.....	51
4.3. Clasificación de los minitubérculos.....	52
4.3.1. Número de minitubérculos de cada categoría.....	52
4.3.2. Porcentaje de cada categoría de los minitubérculos de papa.....	53
4.3.3. Peso de los minitubérculos de papa por categoría	53
4.4. Número de minitubérculos de papa en un área de 1 m ²	54
4.5. Rendimiento de minitubérculos de papa en kg/m ²	55
6. CONCLUSIONES.....	57
7. RECOMENDACIONES	58
8. BIBLIOGRAFIA.....	59
9. ANEXOS.....	67

INDICE DE CUADROS

Contenido	Página
Cuadro 1. Valor nutricional de 100 g de papa.....	3
Cuadro 2. Características morfológicas de cultivares de papa en El Salvador.	7
Cuadro 3. Calidad del agua de riego.	14
Cuadro 4. Programa de nutrición del cultivo de papa.	19
Cuadro 5. Clasificación de los minitubérculos de papa con base al peso.	20
Cuadro 6. Diseño del experimento	22
Cuadro 7. Análisis de varianza para la variable diámetro del tallo.	25
Cuadro 8. Prueba de Tukey para el factor variedad.	25
Cuadro 9. Prueba de Tukey, interacción de tres variedades de papa con diferente número de tallos.....	27
Cuadro 10. Análisis de varianza para la variable número de hojas.....	28
Cuadro 11. Análisis de varianza para la variable altura de la planta.....	31
Cuadro 12. Prueba de Tukey para el factor variedad.	32
Cuadro 13. Prueba de Tukey, interacción de tres variedades de papa con diferente número de tallos.....	34
Cuadro 14. Análisis de varianza para la variable total de minitubérculos.....	35
Cuadro 15. Prueba de Tukey para el factor variedades.....	36
Cuadro 16. Prueba de Tukey, interacción de tres variedades de papa con diferente número de tallos.....	37
Cuadro 17. Análisis de varianza para la variable número total de minitubérculos por planta	39
Cuadro 18. Prueba de Tukey, para el factor variedades.....	39
Cuadro 19. Prueba de Tukey, interacción de tres variedades de papa con diferente número de tallos.....	41
Cuadro 20. Prueba de Tukey, para el factor número de tallos.....	43
Cuadro 21. Análisis de varianza para la variable peso total de minitubérculos.....	45
Cuadro 22. Prueba de Tukey para el factor variedades.....	45
Cuadro 23. Prueba de Tukey, interacción de tres variedades de papa con diferente número de tallos.....	48
Cuadro 24. Análisis de varianza para la variable diámetro de minitubérculos.....	49
Cuadro 25. Prueba de Tukey para el factor variedades.....	50
Cuadro 26. Prueba de Tukey, interacción de tres variedades de papa con diferente número de tallos.....	51

INDICE DE FIGURAS

Contenido	Página
Figura 1. Efecto del número de tallos en el cultivo de papa.....	7
Figura 2. Invernadero donde se estableció la investigación.....	16
Figura 3. Siembra de la semilla de papa.....	17
Figura 4. Programa de fertilización con base a la fenología del cultivo de la papa.	18
Figura 5. Categorización de minitubérculos.....	20
Figura 6. Diseño del experimento.....	21
Figura 7. Diámetro del tallo de las tres variedades de papa.	24
Figura 8. Diámetro del tallo con diferentes números de tallo.	26
Figura 9. Diámetro de tallo e interacción de las tres variedades de papa con diferente número de tallos.....	27
Figura 10. Número de hojas de tres variedades de papa.	28
Figura 11. Numero de hojas con diferentes números de tallo.	29
Figura 12. Numero de hojas e interacción de las tres variedades de papa con diferente número de tallos.....	30
Figura 13. Altura de la planta de las tres variedades de papa.	31
Figura 14. Altura de la planta con diferentes números de tallo.	32
Figura 15. Altura de la planta e interacción de las tres variedades de papa con diferente número de tallos.....	33
Figura 16. Total de minitubérculos de las tres variedades de papa.	34
Figura 17. Total de minitubérculos con diferentes números de tallo.	35
Figura 18. Número de minitubérculos e interacción de tres variedades de papa con diferentes números de tallos.	36
Figura 19. Número total de minitubérculos por planta, para de tres variedades de papa.	37
Figura 20. Número total de minitubérculos por planta con diferentes números de tallo.	38
Figura 21. Número de minitubérculos por planta, para la interacción de tres variedades de papa con diferentes números de tallos.	39
Figura 22. Número de minitubérculos por tallo, para de tres variedades de papa.	40
Figura 23. Número de minitubérculos por tallo, para el factor diferentes números de tallos.....	41
Figura 24. Número de minitubérculos por tallo, para la interacción de tres variedades de papa con diferentes números de tallos.....	42
Figura 25. Peso total de minitubérculos, para de tres variedades de papa.....	42
Figura 26. Peso total de minitubérculos, para el factor diferentes números de tallos....	44

Figura 27. Peso total de minitubérculos, para la interacción de tres variedades de papa.	45
Figura 28. Diámetro de minitubérculos, para de tres variedades de papa.	46
Figura 29. Diámetro de minitubérculos, para el factor diferentes números de tallos.	51
Figura 30. Diámetro de minitubérculos, para la interacción de tres variedades de papa.	52
Figura 31. Número de minitubérculos de cada categoría.....	52
Figura 32. Porcentaje (%) de las categorías de tres variedades de papa.	53
Figura 33. Pesos de minitubérculos de tres variedades de papa.....	54
Figura 34. Número total de minitubérculos en 1m ² de tres variedades de papa.....	54
Figura 35. Rendimiento en kg/m ² de tres variedades de papa.....	55

INDICE DE ANEXO

CUADROS

Contenido	Página
Cuadro A-1. Características físicas y químicas de la roca volcánica.	67
Cuadro A-2. Características físicas y químicas de la fibra de coco.....	67
Cuadro A-3. Agroquímicos utilizados para la prevención y control de plagas y enfermedades que se presentaron en el cultivo de papa.	68
Cuadro A-4. Promedios de datos registrados de temperaturas y humedad relativa del invernadero.	69
Cuadro A-5. Estructura análisis de varianza.....	70
Cuadro A-6. Prueba de Tukey para el número de tallos.	70
Cuadro A-7. Prueba de Tukey para las tres variedades de papa.....	70
Cuadro A-8. Prueba de Tukey para el número de hojas con diferentes números de tallo.	71
Cuadro A-9. Prueba de Tukey para número de hojas en la interacción variedades de papa y número de tallos.	71
Cuadro A-10 Prueba de Tukey para el factor altura de la planta con diferentes números de tallo.	71
Cuadro A-11. Prueba de Tukey para el factor número de tallos.	71
Cuadro A-12. Prueba de Tukey para el factor número de tallos.	72
Cuadro A-13. Análisis de varianza para la variable número de mini tubérculos por tallo.	72
Cuadro A-14. Prueba de Tukey para el factor variedades.	72
Cuadro A-15. Prueba de Tukey en la interacción de variedades de papa con número de tallos.....	72
Cuadro A-16. Prueba de Tukey para el factor número de tallos.	73
Cuadro A-17. Prueba de Tukey para el factor número de tallos.	73
Cuadro A-18 Resumen de mintubérculos en (g) de las tres variedades de papa	73
Cuadro A-19. Resumen del número de minitubérculos producidos en un área de 1 m ²	73
Cuadro A-20. Resumen del rendimiento en kg en un área de 1m ²	74

FIGURAS

Contenido	Página
Figura A-1 Hidrotermógrafo.....	74
Figura A-2 Conductiviméto	75
Figura A-3 Toma de intensidad lumínica	75
Figura A-4. Producción de minitubérculos, variedad Atlanta y diferente número de tallos	76
Figura A-5. Producción de minitubérculos, variedad Granola y diferente número de tallos	76
Figura A-6. Producción de minitubérculos, variedad Soloma y diferente número de tallos	77
Figura A-7. Producción total de minitubérculos, en las tres variedades de papa. Atlanta, Granola y Soloma.....	77
Figura A-8. Categorización de minitubérculos variedades Atlanta, Granola y Soloma.	78
Figura A-9. Producción total de minitubérculos de las tres variedades Atlanta, Granola y Soloma.	78

1. INTRODUCCION

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es el cuarto cultivo sembrado en más de 100 países y es el alimento básico de los países desarrollados de Europa y Estados Unidos de Norteamérica, en donde se consumen 75 kg per cápita anual, mientras que en El Salvador este valor es de 14.28 kg per cápita anual.

Según la USDA (2003), la papa es un tubérculo de gran importancia por sus aportes de proteína (1.87 g), carbohidratos (20.13 g), fibra (1.8 g), fósforo (44 mg) y vitamina C (13.0 mg).

La FAO (2010) indica que los minitubérculos de papa son tubérculos que se producen a partir de material micro propagativo, bajo condiciones de asepsia para evitar infestación de plagas o contaminación.

Uno de los factores agronómicos más importantes en la producción de papa está determinado por el tamaño del tubérculo que se utilizará en la plantación y por el número de brotes que éste posea (Vander Zaag 1987).

La cantidad de tallos producidos por tubérculo es variable, depende del tamaño de la semilla, variedad, número de brotes y método de siembra. Las variedades nativas se caracterizan por generar un gran número de tallos, mientras que las mejoradas tienden a producir de tres a cuatro tallos por tubérculo-semilla (Pumisacho 2002).

En El Salvador los productores de papa utilizan semilla no certificada, ya que ocupan los tubérculos que son destinados para el consumo y no cumplen los requisitos mínimos de una semilla de buena calidad, por lo que los rendimientos no son significativos y se vuelven focos de infección de plagas y enfermedades, aumentando los costos de producción y reduciendo las ganancias para ellos.

El cultivo de la papa es uno de los rubros de mayor importancia económica en la zona de Las Pilas, en San Ignacio, Chalatenango, ubicada entre 2,000 a 2,400 metros sobre el nivel del mar, actualmente se siembran 365.20 hectáreas anualmente, obteniendo una producción de 10,573.416 toneladas que sólo cubre el 20% de la demanda total, por lo cual hay necesidad de importar papa para cubrir la demanda nacional (FAOSTAD 2018).

Para el año agrícola 2017-2018 se importó papa de otros países de la región Centroamericana con un volumen de 78, 443.928 kg y un valor de \$ 5,549.337 dólares, lo que indica una fuga de divisas (MAG 2018).

Es por ello que la Agencia de Cooperación Internacional de Corea (KOICA) junto con la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, realizan esfuerzos en la producción de semilla pre-básica de papa libre de virus bajo la técnica de cultivo in vitro; así mismo, el programa de Hortalizas del CENTA realiza estudios similares.

Por lo anterior, la investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto del número de tallos en tres variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.), en el rendimiento de minitubérculos de la Generación 2 en invernadero, y así aportar al país la información para obtener una producción de papa aceptable.

2. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1. Origen del cultivo de papa

La papa tiene su origen en Sur América en los Andes Peruanos, distribuyéndose entre la latitud 10° N y 20° S, es decir en los países de Perú y Bolivia, cerca del lago Titicaca para la subespecie *andigenum*, aunque existen muchas especies silvestres en México, Guatemala, Ecuador y Chile. La especie *andigena* es una planta de día corto para tuberizar y la especie *tuberosum* forma bulbo en día corto y en día largo, en altitudes desde el nivel del mar hasta los 3,000 m.

2.2. Importancia nutricional del cultivo de papa

Según la FAO (2009), la papa forma parte importante del sistema alimentario mundial. Es un alimento versátil y tiene gran contenido de carbohidratos, es popular en todo el mundo y se prepara y sirve en una gran variedad de formas. Recién cosechada contiene 80% de agua y 20% de materia seca. Respecto a su peso seco, el contenido de proteína de la papa es análogo al de los cereales, y es muy alto en comparación con otras raíces y tubérculos.

La papa tiene abundantes micronutrientes, sobre todo vitamina C, B1, B3 y B6, y otros minerales como potasio, fósforo y magnesio, también, folato, ácido pantoténico, hierro y rivotlavina (cuadro 1). Además, contiene antioxidantes alimentarios, los cuales pueden contribuir a prevenir enfermedades relacionadas con el envejecimiento, y fibra, cuyo consumo es bueno para la salud (López y Fernández 2012).

Cuadro 1. Valor nutricional de 100 g de papa.

Composición	Valores*
Agua	77,00 g
Fibra	1,80 g
Grasa	0.1 gn
Valor calórico	87 Kcal
Proteína	1,87 g
Carbohidratos	20,13 g
Vitamina C	13.0 mg
Hierro	0,31 mg
Calcio	5 mg
Fósforo	44 mg
Niacina	1.44 mg
Riboflavina	0.02 mg
Tiamina	0.106 mg

Fuente: USDA (2003).

*Estos valores varían levemente de acuerdo al tipo de cocción y a la variedad de papa.

2.3. Descripción botánica del cultivo de papa

La papa pertenece a la familia de las Solanáceas, es una planta herbácea, dicotiledónea, anual, su número de cromosomas es de 48 (tetraploide) y su forma de reproducción es sexual o asexual (tubérculos) (Gudiel 1987).

En El Salvador el ciclo vegetativo de la papa oscila entre 100 a 120 días, depende de las condiciones climáticas y la variedad (Grepe 2001).

2.4. Morfología de la papa

2.4.1. Raíz

Es adventicia, fibrosa, muy ramificada, fina y larga, alcanzando una profundidad de 0.8 m (Faiguenbaum y Zunino 1998).

2.4.2. Tallos

La papa produce un tallo normal de tipo herbáceo, erecto, con ramificaciones no muy desarrolladas (MIDA 1982).

Según Dimitri y Milan (1987), la papa presenta tres tipos de tallos, uno aéreo, circular o angular en sección transversal sobre el cual se disponen las hojas compuestas y dos tipos de tallos subterráneos: los estolones y los tubérculos.

Los estolones son tallos modificados que se producen bajo la tierra y se van engrosando hasta la punta para formar el tubérculo (MIDA 1982).

Los tubérculos son los órganos comestibles de la patata, están formados por tejido parenquimatoso, donde se acumulan las reservas de almidón. Los tubérculos que corresponden a tallos subterráneos modificados, se originan a partir de un engrosamiento en el extremo distal de los rizomas (Biblioteca técnica de cultivos y almácigos s.f.).

El tubérculo al desarrollarse y ser cosechado presenta yemas que, después de un período de reposo, brotan para producir nuevas plantas (MIDA 1982).

2.4.3. Hojas

Son de tipo compuesta, con varios folíolos opuestos y uno grande como terminal. Las hojas son un poco vellosas. En las axilas que forman las hojas con el tallo salen las yemas vegetativas (Parsons 1984).

2.4.4. Inflorescencia

Plaisted (1982) reporta que la inflorescencia nace en el extremo terminal del tallo y el número de flores en cada una puede ir desde 7 a 15.

La inflorescencia de la papa es de tipo cima, compuesta de terminal con pedúnculos largos. La flor es completa y los cinco pétalos se fusionan formando un tubo floral, la flor es bisexual, es decir que tiene cáliz, corola, estambres y pistilo (Parsons 1984).

2.4.5. Frutos

Es una baya, de forma semejante a un tomate, pero mucho más pequeña, la cual puede presentar una forma redonda, alargada, ovalada o cónica. Su diámetro generalmente fluctúa entre uno y tres centímetros (Plaisted 1982).

2.4.6. Semillas

Son muy pequeñas, aplanadas u ovaladas, pueden ser blancas, amarillas o castaño amarillentas. Cada semilla está envuelta en una capa llamada testa que protege al embrión y un tejido nutritivo de reserva llamado endosperma. Las semillas son también conocidas como semillas verdaderas o botánicas (Fries 2007).

2.5. Etapas fenológicas de la papa

El crecimiento es el incremento irreversible en número o dimensión de una célula, tejido, órgano, individuo o comunidad. El desarrollo de una planta de papa ocurre a través de una serie de etapas fenológicas y las clasifica en desarrollo de brote, establecimiento de la planta, inicio de tuberización, llenado del tubérculo y maduración de éste, y la duración de cada una depende del genotipo, de factores ambientales tales como la altitud y la temperatura, del tipo de suelo, de la disponibilidad de humedad y de la localidad (Dwelle 2003).

En la primera etapa (desarrollo del brote), los tubérculos han dejado la condición de reposo y tienen la capacidad de brotar, siempre que las condiciones ambientales sean favorables para el crecimiento (alta temperatura); la segunda etapa (establecimiento de la planta) se refiere al

periodo comprendido entre la brotación y la iniciación del tubérculo, caracterizada por el crecimiento de hojas y ramas en la parte aérea, y de raíces y estolones en la parte subterránea; la tercera etapa (inicio de tuberización) comprende la formación del tubérculo en la punta del estolón, no obstante que su crecimiento puede ser imperceptible. En muchas variedades, el término de este evento coincide con el inicio de la floración. En la cuarta etapa (llenado del tubérculo), las células de la papa se expanden debido a la acumulación de agua, nutrientes y carbohidratos, el tubérculo llega a ser el sitio dominante en la deposición de carbohidratos y compuestos inorgánicos. Este es el periodo de crecimiento crítico para el rendimiento y calidad del tubérculo, además afectan la temperatura, fertilización, edad fisiológica, la distancia entre plantas, fechas de siembra, riego, manejo de plagas y enfermedades; en la quinta etapa (madurez del tubérculo) el follaje cambia a color amarillo y es acompañado por la pérdida de hojas, ocurre una disminución en la fotosíntesis, el crecimiento del tubérculo se hace más lento y alcanza la mayor acumulación de materia seca, además de un adecuado grosor del peridermo o piel (Dwelle 2003).

En algunos estudios se destaca la importancia de la tuberización en papa, ya que es un proceso complejo que involucra a diferentes sistemas biológicos, y que puede tener influencia importante sobre aspectos que incluyen al rendimiento, madurez para cosecha, desarrollo de enfermedades y defectos relacionados. Las fitohormonas, además del fotoperíodo y la temperatura, juegan un papel primordial ya que regulan los eventos morfológicos de tuberización activados en el ápice del estolón; los niveles altos de giberelinas inhiben la tuberización, mientras que los bajos la promueven. Los factores de transcripción son proteínas que se unen al ADN para regular la actividad de los genes y en algunos casos para regular los niveles hormonales; varias de estas ligaduras proteicas del ADN están involucradas en la regulación del crecimiento de la planta y el desarrollo de los meristemas en papa, incluyendo la formación del tubérculo (Hannapel *et al.* 2004).

2.6. Número de tallos en el cultivo de papa

Según Struik y Wiersema (1999), el número óptimo de tallos por planta para obtener los mejores rendimientos varía de una variedad a otra y este a su vez está determinado por el número de brotes plantados; no obstante, es muy importante la consistencia de estos, método de plantación y condiciones del terreno. En la figura 1 se observa que entre más cantidad de tallos se dejen por minitubérculo, la producción será mayor pero el peso de los minitubérculos disminuirá.

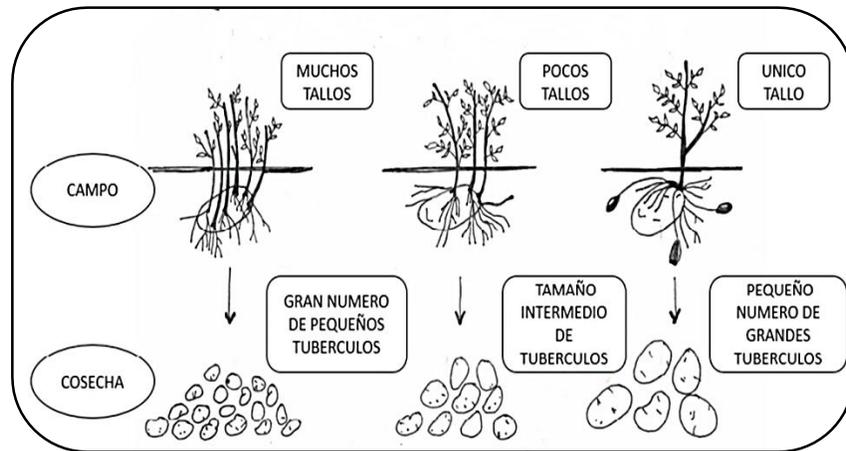


Figura 1. Efecto del número de tallos en el cultivo de papa. Fuente: Struik y Wiersema 1999.

2.7. Variedades de papa

En el cuadro 2 se observan los materiales genéticos de papa cultivados en El Salvador, las cuales se adaptan entre 550 a 2,800 metros sobre el nivel del mar. La Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador realiza investigaciones con nuevos materiales de papa, entre ellos: Atlanta, Décima, Tollocan (Pérez 2018).

Cuadro 2. Características morfológicas de cultivares de papa en El Salvador.

Características	Atlanta	Granola	Soloma
Adaptación (msnm)	700 a 1,200	750 a 2,800	550 a 2,400
Altura de la planta (m)	0.8	0.35 a 0.60	0.75
Tallos	Erectos	Erectos, robustos	Rectos, angostos
Color de tubérculos	Amarillo-crema	Amarillo	Amarillo oscura
Forma del tubérculo	Oblondo	Alargado ovalado	Alargado ovalado
Color interno del tubérculo	Blanco	Crema	Amarillento
Color de la flor	Lila	Blanca	Lila, blanca
Días de cosecha	100-115	115	120-130
Rendimiento (Tm/ha)	25 a 27	10.8	20 a 25

Fuente: Pérez (2018).

2.8. Influencia del tamaño de los minitubérculos en el número de brotes

2.8.1. Tubérculo semilla pequeño

El utilizar tubérculo semilla pequeño, o sea, de menor peso, trae consigo implicaciones relacionadas con el mismo tubérculo semilla y con el establecimiento del cultivo (Alonso 1996), algunas de las más importantes son las siguientes:

- Se tienen más brotes por kg de semilla.
- Se produce una brotación más temprana.
- Si las condiciones del suelo son malas se produce una emergencia pobre.
- Se obtienen menos tallos por planta.
- Se presenta más dificultad para alcanzar altas densidades de tallos.
- Si se produce una helada en la primera fase, la recuperación es más probable.

2.8.2. Tubérculo semilla grande

Al usar tubérculo semilla grande se tendrán las siguientes implicaciones:

1. Se producen menos brotes por kg de semilla.
2. Se produce una brotación más tardía.
3. Si las condiciones del suelo son malas se produce una emergencia pobre.
4. Se producen más tallos por planta.
5. Si se produce una helada en la primera fase, la recuperación es más fácil (Alonso 1996).

2.9. Contenido de azúcares

Los azúcares son producidos por las plantas en grandes cantidades a través de la fotosíntesis y constituyen la principal fuente de energía para los seres vivos. Dos de las más importantes características de calidad en los tubérculos de papa son el contenido de almidón (60% a 80% del contenido de materia seca total), el cual tiene influencia directa con la textura de los productos cocinados y el contenido de azúcares.

Los azúcares reductores glucosa y fructosa expresan sus mayores efectos durante el freído del tubérculo al producir un color oscuro, ya que estos azúcares son químicamente reactivos; mientras que la sacarosa se relaciona indirectamente con el desarrollo del color oscuro, al ser un substrato para la formación de glucosa y fructosa, bajo ciertas condiciones fisiológicas y ambientales (Stark y Love 2003).

En la planta de papa, cierta cantidad de los azúcares producidos en las hojas son retenidos en ellas y en el dosel, y son utilizados en la respiración para proveer de energía a la planta, empleada en mantenimiento, crecimiento y en el manejo de procesos metabólicos críticos; otra parte de los azúcares son transportados al tubérculo en donde son depositados en el citoplasma para el mantenimiento del sistema o son convertidos en almidón en los amiloplastos. A inicios del crecimiento del tubérculo el contenido de almidón es bajo y los azúcares son altos, y cuando se

alcanza la madurez fisiológica se obtiene la máxima acumulación de materia seca y mínima cantidad de azúcares (Stark y Love 2003).

El contenido de azúcares totales en tubérculos inmaduros, en base a peso fresco, puede alcanzar 3%; mientras que en la madurez fisiológica la cantidad es menor a 1%. En otros estudios se reportan valores de 0.20% a 1.5% de sacarosa y de 0.01% a 0.70% de azúcares reductores en tubérculos inmaduros; en tanto que, durante la madurez fisiológica el contenido de sacarosa es de 0.10% a 0.60% y de reductores 0.04% a 0.40%. El contenido de azúcares durante la brotación de los tubérculos de papa muestra un incremento en relación a los que se encuentran en reposo; sin embargo, en otros estudios se ha observado que después de almacenar los tubérculos durante periodos prolongados, el contenido de azúcares puede incrementarse, sobre todo cuando se exponen a bajas temperaturas (Ross y Davies 1992).

2.10. La luz en las plantas

Las plantas y la luz están fuertemente relacionadas. Con la luz las plantas producen la fotosíntesis, una reacción físico-química muy importante para la producción de oxígeno, dióxido de carbono, frutos y hojas.

Todas las plantas sin excepción experimentan un comportamiento basado en la luz en el crecimiento de las mismas. Las plantas experimentan el fototropismo que es el mecanismo y seguimiento y respuesta adaptativa de las plantas. Estas siguen la luz de una manera vertical, por ello, su crecimiento es hacia arriba (Campbell 2001).

2.10.1. Factores lumínicos que afectan al crecimiento de las plantas

Alguno de los factores que afectan al crecimiento de una planta son la intensidad, la calidad y el tiempo de exposición a la luz, ya que de ello depende su proceso de fotosíntesis. Pero no todas las plantas deben recibir la misma intensidad de luz, unas requieren más que otras, y si no se contempla la importancia de la iluminación en las plantas es probable que el crecimiento de las mismas sufra o cese (Richford 2010).

La intensidad de luz que recibe una planta es muy importante para el desarrollo, floración y producción de frutos. Se sabe que las plantas necesitan al menos 12,000 lux de intensidad de luz para producir la fotosíntesis, que es lo que mantiene a la planta con vida (Echarri 2010).

Se ha encontrado que la cantidad de lux de un día soleado es de 150,000 lux, cantidad requerida por la planta para llegar a la etapa de floración. En el cultivo de papa la Intensidad lumínica es de 3,000 lux (Richford 2010).

- 1) Intensidad de luz. Es la luminosidad o el nivel de luz que demandan las plantas. Según la intensidad de luz que las plantas necesitan, se divide en: mucha luz, luz media (división a la que pertenece la papa) y poca luz (Whitting *et al* 2009).
- 2) Calidad de la luz. Se refiere al color o longitud de onda que recibe la superficie de la planta. Es un factor a tener en cuenta en caso de que se quiera iluminar artificialmente una planta. Tanto el rojo como el azul es el responsable del crecimiento de las hojas mientras que, la luz roja ayuda a la floración de la misma. El color verde solo hace que se refleje en las hojas para luego ser vistas de ese color (Whitting *et al* 2009).
- 3) Tiempo de exposición a la luz. Es la cantidad de tiempo en que la planta es expuesta a la luz para conseguir un crecimiento abundante. Unas plantas son más sensibles al fotoperiodo que otras. La respuesta de las plantas al fotoperiodo puede ser dividida en:
 - Plantas de fotoperiodos cortos: tienen mejor crecimiento en días de corta duración.
 - Plantas de fotoperiodos largos: tienen mejor floración en días de larga duración, por ejemplo, la papa, espinaca y la cebolla.

El cultivo de papa presenta características que requieren fotoperiodos cortos y largos. Para el crecimiento de la planta, esta requiere un fotoperiodo largo de 15 a 16 horas. Para el crecimiento del tubérculo necesita un fotoperiodo corto, ya que la planta al detectar esto entra en un estado de hibernación y en la raíz se forma lo que es el depósito de carbohidratos, con esto, la generación del tubérculo, que es la papa en sí (Whitting *et al* 2009).

CENTA (2002) menciona que en El Salvador el cultivo de papa se comporta mejor con períodos de 8 a 12 horas luz. La luminosidad que reciben las plantas durante el día incide en la función de los cloroplastos y desencadena una serie de reacciones en las que interviene el dióxido de carbono y el agua, que ayudan a la formación de los diferentes tipos de azúcares que pasan a formar parte de los tubérculos. Además, la luminosidad tiene influencia en la fotosíntesis y fotoperiodos requeridos por las plantas.

2.10.2. Unidades lux

La intensidad luminosa es una característica de la fuente de luz, viene dada por el flujo luminoso emitido por unidad de ángulo sólido en una dirección específica. Su unidad es la candela (cd), donde $cd = sr/m^2$ y su símbolo es la I (Galán 1987).

La iluminancia es el flujo que incide sobre una superficie, dividido por el tamaño de dicha superficie (S).

La iluminancia es la magnitud de valoración del nivel de iluminación de una superficie o de una zona espacial. Su unidad es el lux (lm/m^2) (Galán 1987).

La luminancia brillo es la relación entre la intensidad luminosa en dicha dirección y la superficie aparente. Su unidad es la candela por metro cuadrado (cd/m^2) y se representa por la letra L (Czajkowski 2006).

2.11. Cultivo en invernadero

Son aquellos que durante todo el ciclo de producción o en una parte del mismo se incorporan modificaciones que actúan acondicionando el microclima del espacio donde crecen las plantas (Alfredo 2013).

Un invernadero es cualquier estructura cerrada cubierta con materiales transparentes que sirve de protección a los diferentes cultivos, altamente permeable a la luz solar, que preserva a las plantas de los factores climatológicos adversos como alta irradiación solar, lluvias continuas, vientos, temperaturas bajas y altas, que permite el manejo del ambiente interno mediante climatización tecnificada de acuerdo a las necesidades de la planta, para tener un desarrollo óptimo y alta productividad (Portillo 2010).

Una de las ventajas más importantes de los invernaderos es que los cultivos hidropónicos no dependen de las condiciones ambientales, lo cual es ideal y evita que haya daños ocasionados por plagas y enfermedades, además hay aumento de los rendimientos (tres a cinco veces mayor que los obtenidos a campo abierto). Otras ventajas son la capacidad para controlar la humedad. Una vez que el aire es muy húmedo, se hace más difícil para que las plantas pierdan agua por evaporación. Y lo más importante, se hace mayor eficiencia en el uso del agua.

Una de las limitaciones son los gastos de operación, los cuales son mayores que en campo abierto, que es lógico porque se tienen gastos mayores por el hecho de brindarle al cultivo las condiciones idóneas para su desarrollo, se necesita de personal calificado con conocimiento de cultivos para que puedan estar preparados para cualquier inconveniente que se presente (Valverde 1998).

2.11.1. Hidroponía

El término “hidroponía” tiene su origen en las palabras griegas “hidro” que significa agua y “ponos” que significa trabajo. O sea “trabajo en agua”. Es una técnica de producción agrícola en la que se cultiva sin suelo y donde los elementos nutritivos son entregados en una solución líquida.

Las ventajas de la hidroponía es que son cultivos sanos, pues se riegan con agua potable y se siembran en sustratos limpios y libres de contaminación, existe mayor eficiencia en el uso del agua, son apropiados para ocupar espacios pequeños, techos, paredes, terrazas, se obtiene mayor cantidad de plantas por superficie y es una técnica fácil de aprender y de bajo costo (FAO 2003).

Las desventajas de la hidroponía es que se requiere de conocimiento de nutrición vegetal y desarrollo de los cultivos, así como de un abastecimiento continuó de agua. También para su manejo a escala comercial se requiere de conocimiento técnico combinado con la comprensión de los principios de fisiología vegetal y de química orgánica (Guzmán 2004).

2.11.2. Sustratos

Es aquel material sólido distinto del suelo que responde a naturalezas diversas: natural, residual, mineral u orgánico; colocado en forma pura o en mezcla, permitiendo el anclaje del sistema radicular y soporte a la planta con la finalidad de proporcionar a la raíz el oxígeno y los nutrientes necesarios.

Los sustratos deben tener gran resistencia al desgaste o la meteorización, que no obtengan sustancias minerales solubles, además su granulometría debe ser mayor a 5 mm y menor a 7 mm, preferiblemente su color debe ser oscuro, que no se degraden o descompongan con facilidad y lo principal deben retener una buena cantidad de agua (Calderón y Cevallos 2002).

Los tipos de sustratos son:

- Escoria Volcánica. Es un material rojizo, de origen volcánico, en el país este sustrato es utilizado con éxito, sin embargo, posee partículas muy pequeñas, las cuales deben ser eliminadas mediante lavados para evitar el encharcamiento, el tamaño de las partículas debe ser entre 5 y 15 milímetros (cuadro A-1) (Quezada 2008).
- Fibra de coco. Constituye un excelente sustrato por su buena capacidad de retención de humedad, ofreciendo grandes ventajas para la mezcla con otros sustratos (cuadro A-2). La fibra de coco empleada en hidroponía debe tener una alta relación carbono/nitrógeno para que se mantenga estable químicamente en el sustrato (Mora 2012).

2.12. Potencial de hidrógeno

El pH (potencial de hidrógeno) es el grado de acidez o alcalinidad de la solución. El nivel de pH influye directamente sobre la absorción de los nutrientes por parte de la planta. Entre los valores de pH 5.5 a 7 se encuentra la mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas, fuera de este rango las formas en que se pueden encontrar los nutrientes resultan inaccesibles para ser absorbidos por la planta, por lo que es fundamental mantener el rango de pH. En caso de tener valores de pH superiores a 7 es posible corregir la solución nutritiva mediante la acidificación, usando ácido nítrico, fosfórico o sus mezclas. Deberá contemplarse en la reformulación los respectivos aportes de nitrógeno y fósforo realizado por estos ácidos.

En caso de pretender elevar el pH por tener una solución extremadamente ácida, debe utilizarse hidróxido de potasio, considerando también el aporte de potasio realizado por esta vía (INIA 2007).

2.13. Conductividad eléctrica (mS/cm)

La conductividad eléctrica mide la concentración de sales disueltas en el agua y el valor se expresa en mS/cm o sus equivalentes, este valor multiplicado por un factor de corrección 0.7 o 0.9, en función de la calidad del agua, permite conocer de forma aproximada la cantidad de sales disueltas en g/l. Tan importante es conocer la conductividad eléctrica del agua de riego o de la solución nutritiva, como la concentración de sus iones, de tal manera que estos se encuentran en equilibrio (cuadro 3) (Baixauli y Aguilar 2002).

Cuadro 3. Calidad del agua de riego.

Tipo de Agua	Conductividad eléctrica (mS/cm)	Sodio (%)	Cloruro (Cl) (mg/L)	Sulfatos (SO ₄) (meq/L)
Excelente	Menor a 250	Menor a 20	Menor a 4	Menor a 4
Buena	250-750	20-40	4 - 7	4 - 7
Normal	750-2,000	40-60	7 - 12	7 - 12
Dudosa	2,000-3,000	60-80	12 - 20	12 - 20
No apta	Mayor a 3,000	Mayor a 80	Mayor a 20	Mayor a 20

Fuente: Martínez de la Cerda *et al.* (s.f.).

Los iones disueltos están formados por aniones y cationes. La electronegatividad de la solución nutritiva se mantiene siempre y cuando la sumatoria de las concentraciones de aniones y cationes expresadas en meq/l debe ser 0 o menor de 5%. La relación entre la conductividad eléctrica y la suma de aniones o cationes debe ser aproximadamente 10. Esta relación es más baja en aguas que predominan los sulfatos o bicarbonatos y mayor de 10 cuando predominan los cloruros (Baixauli y Aguilar 2002).

2.14. Requerimientos nutricionales

En los cultivos hidropónicos las plantas crecen en el agua o sustratos inertes que no aportan ningún tipo de alimento, por lo que hay que entregarle en la solución nutritiva los elementos necesarios de acuerdo a los requerimientos de la planta, en donde necesitan 16 elementos primordiales, tres de ellos los obtiene del ambiente: carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O), que representa el 90% a 95% del total, el resto puede ser del 5% al 10%, y constituye la denominada fracción mineral, son los elementos que la planta absorbe en forma iónica y se dividen en dos grupos:

- Macro nutrientes, con dos escalas: Macro primarios: nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K); y Macro secundarios: azufre (S), magnesio (Mg) y calcio (Ca).
- Micro nutrientes: boro (B), manganeso (Mn), hierro (Fe), zinc (Zn), cobre (Cu), molibdeno (Mo) y cloro (Cl) (Sierra *et al.* 2002).

2.14.1. Absorción de nutrientes en la planta

La absorción de nutrientes en las plantas se divide en tres fases:

- 1) Mecanismos de absorción: varían según el compartimiento y las condiciones reinantes en los mismos, siendo los más importantes el movimiento por difusión y el flujo masal (Salisbury y Ross 1994).

La difusión es un proceso espontáneo que determina el movimiento de moléculas, iones o partículas coloidales desde una región de un sistema a regiones adyacentes donde estas especies poseen menor energía libre (tienen menos capacidad de realizar trabajo).

Hay flujo masal cuando todas las moléculas que componen la masa de agua (incluyendo las sustancias disueltas en ella) se mueven simultáneamente en la misma dirección (estrictamente, el componente direccional dependiente del flujo masal es muy superior a aquellos que dependen del movimiento aleatorio de las moléculas y al componente difusional que pudiera existir).

2) La raíz al interior de la planta: en un medio sin suelo el agua y los iones minerales se mueven dentro de las raíces de las plantas a través de una interconexión de las paredes de las células y también de los espacios intercelulares, incluyendo los elementos de xilema, a los cuales se les llama apoplasto, o bien, a través del sistema de interconexión del protoplasma (excluyendo las vacuolas), el cual se denomina symplasto. No obstante, cualquiera que sea este movimiento, la absorción está regulada por la capa de células endodérmicas que se encuentran alrededor de lo que podría llamarse cuerpo de la raíz, el cual constituye una barrera que evita el libre movimiento del agua y de los solutos a través de la célula. Existe agua y los diversos minerales pueden moverse con relativa libertad (Arias 2009).

Si las raíces están en contacto con una solución del suelo o nutrientes, los iones penetrarán dentro de la raíz a través del apoplasto, cruzando la epidermis a través de la corteza hasta la capa endodérmica. Algunos iones pasarán desde el apoplasto hasta el symplasto a través de un proceso necesario de respiración activa. Puesto que el symplasto es continuo y en toda capa endodérmica, los iones se pueden mover dentro del periciclo y otras células vivientes de la raíz (Arias 2009).

3) Relación suelo-planta-atmosfera: en este sistema el agua se mueve en fase vapor desde la superficie del suelo y desde las paredes de las células del mesófilo hasta la atmósfera. El movimiento dentro del suelo se produce fundamentalmente en fase líquida, como así también la mayor parte del recorrido dentro de la planta. El movimiento de agua en el suelo en fase vapor es cuantitativamente poco importante, salvo en los primeros centímetros de un suelo húmedo (Bonner y Galston 1981).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Descripción del lugar de estudio

La investigación se realizó en el período de septiembre de 2019 a febrero de 2020, en el invernadero de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, ubicada en el municipio de San Salvador, departamento de San Salvador, a una elevación de 750 metros sobre el nivel del mar, con coordenadas geográficas latitud 13°43'7.68" N, longitud 89°12'1.53" W, con temperaturas promedio de 26° a 34° C y una humedad relativa del aire entre 34% a 48%, y una precipitación promedio anual de 1,695 mm (MARN 2015).

3.2. Metodología de campo

El ensayo se realizó bajo condiciones protegidas en un invernadero de forma semi-circular de 5 metros de ancho por 10 m de largo, con un área total de 50 m². El invernadero tiene dos alturas: una lateral de 3 m y una altura central de 4.30 m, con una orientación de Este a Oeste. (figura 2).



Figura 2. Invernadero donde se estableció la investigación.

El invernadero tiene un recubrimiento con plástico de Etileno-vinilo de acetato (EVA) ultravioleta de 180 micrones, ubicado en la parte superior junto con una tela sarán del 50% para reducir la incidencia de la radiación solar. En las parte laterales y frontales tiene malla anti-virus de 120 mesh; tiene un sistema de riego por goteo y nebulizadores, el cual es controlado con un programador de riego electrónico; además, tiene 125 jabs de polietileno de 0.35 m x 0.56 m x 0.20 m distribuidas en cinco líneas. Dispone de un hidrotermógrafo marca (OAKON), equipo que mide la temperatura en grados Celsius y la humedad relativa en porcentaje durante las 24 horas del día (figura A-1).

3.2.1. Procedencia y selección de la semilla

La semilla de papa se obtuvo por medio de la Agencia de Cooperación Internacional de Corea (KOICA), que junto con la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador han venido produciendo semilla. La selección se realizó determinando cuales eran los minitubérculos que presentan mejor apariencia física.

3.2.2 Siembra

Previo a la siembra de la semilla se realizó una limpieza, reparación y desinfección del invernadero. La mezcla de los sustratos de escoria volcánica (60%) más fibra de coco (40%) se desinfectó con hipoclorito de sodio al 1%. Cada jaba tiene una capacidad de 20 libras de sustrato, al cual se le aplicó agua hasta llevarlo a capacidad de campo.

Antes de realizar la siembra, las semillas de papa (tubérculos) se sumergieron por un periodo de 30 minutos en una solución que contenía la hormona ácido giberélico en dosis de 100 mg/L.

La siembra se realizó 15 días después de haber desinfectado el sustrato, para ello se sembraron 6 minitubérculos de la variedad Atlanta de la Generación Dos (G2) por cada una de las 12 jabas, lo mismo se hizo para la variedad Granola y Soloma. En total se sembraron 288 minitubérculos, los cuales fueron distribuidos en 48 jabas (figura 3).



Figura 3. Siembra de la semilla de papa.

3.2.3 Fertilización del cultivo

La fertilización se realizó con base a las etapas fenológicas del cultivo, para su elaboración se utilizó el método físico-químico, donde se obtuvo una solución molar; en la cual se pesaron 148 gramos de fertilizante hidrosoluble disueltos en un litro de agua, para luego elaborar la solución milimolar en donde se trabajó con un valor de pH de 6 y una conductividad eléctrica máxima de 2

mS/cm, la cual fue medida con un conductivimetro marca (OAKLON PCTTS 50) (figura A-2), con la finalidad de controlar y monitorear el sistema de fertiriego de las soluciones nutritivas que se aportan como solución del suelo o sustrato en el entorno radicular.

La nutrición de las plantas se efectuó utilizando las formulaciones de los fertilizantes hidrosolubles, basado en las diferentes etapas fenológicas:

- Inicio (15-30-15+1%), que va de la semana uno a la tres con una conductividad eléctrica de 1.1 hasta 1.3, y comprende la fase vegetativa.
- Desarrollo (18-6-18-2+8+EM), desde la 4ª a la 7ª semana y una conductividad eléctrica de 1.5 hasta 2, que comprende las etapas fenológicas formación y elongación de estolones, tuberización.
- Producción (13-6-40), de la 8ª hasta la 13ª semana, una conductividad eléctrica de 2 que posteriormente en las dos últimas semanas descendió a 1.6 mS/cm para el desarrollo de los tubérculos (figura 4).

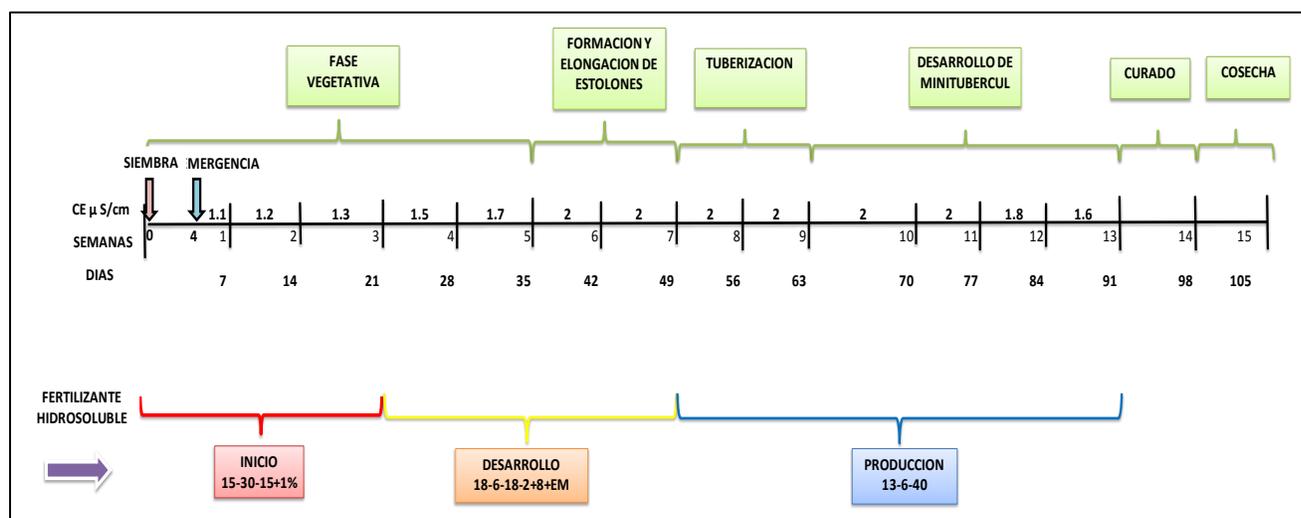


Figura 4. Programa de fertilización con base a la fenología del cultivo de la papa.

La dosis que se utilizó de los fertilizantes hidrosolubles por jaba fue 0.40 litro, realizando tres riegos al día, tres días por semana desde la 1ª hasta la 4ª semana; desde la 5ª hasta la 11ª semana el riego fue cuatro veces por semana; y las últimas dos semanas tres veces por semana (cuadro 4).

Cuadro 4. Programa de nutrición del cultivo de papa.

Semanas	Conductividad eléctrica	Litro por jaba	Riegos /día	Días de Fertilización/semana	Total de litros /semana	Total de litros/48 jabas	Solución nutritiva por etapa fenológica/L
INICIO							
1	1.1	0.4	3	3	3.6	172.8	
2	1.2	0.4	3	3	3.6	172.8	561.6 L
3	1.3	0.5	3	3	4.5	216.0	
DESARROLLO							
4	1.5	0.5	3	3	4.5	216.0	
5	1.7	0.6	3	4	7.2	345.6	1,252.8 L
6	2.0	0.6	3	4	7.2	345.6	
7	2.0	0.6	3	4	7.2	345.6	
PRODUCCION							
8	2.0	0.6	3	4	7.2	345.6	
9	2.0	0.6	3	4	7.2	345.6	1,728.0 L
10	2.0	0.6	3	4	7.2	345.6	
11	2.0	0.6	3	4	7.2	345.6	
12	1.8	0.4	3	3	3.6	172.8	
13	1.6	0.4	3	3	3.6	172.8	
Total de solución gastada							3,542.46 L

Fuente: Elaboración propia (2020).

Durante el ciclo del cultivo se realizaron las siguientes actividades:

- Monitoreo semanal para verificar la presencia de plagas y enfermedades durante el ciclo del cultivo (cuadro A-3).
- Monitoreo del micro clima en el invernadero, ya que se tomaron datos de temperatura y de la humedad relativa, para determinar la frecuencia de la activación de los nebulizadores (cuadro A-4).
- Podas, aporco y colocación de tutores. Se eliminaron tallos que no correspondían al tratamiento en estudio, en los cuales se dejó dos, tres y cuatro tallos por minitubérculo sembrado. El aporco consistió en depositar tierra alrededor del tronco de la planta para mejorar su sostén y producción de tubérculos. Se colocaron tutores de varas de bambú para brindarle soporte a la planta para un crecimiento adecuado.

- El indicador de cosecha se determinó por la madurez fisiológica de la planta, en donde el tallo y las hojas se tornan de un color amarillo-café, comienzan a secarse y se vuelven quebradizas.

3.2.4. Toma de la intensidad lumínica

Se tomaron dos datos, el primero fue al sol (551 lux) y el segundo bajo la hoja del cultivo de papa en invernadero (376 lux). Se midió con el instrumento llamado Luxómetro, marca AMTROBE LM-120, que permite medir rápidamente la iluminancia real de un ambiente (figura A-3).

3.2.5. Proceso de curado

Previo a la cosecha se realizó el proceso de curado, el cual consistió en podar la planta a una altura de 20 cm, con la finalidad de promover la suberización de la epidermis, haciéndola más resistente e impermeable.

3.2.6. Cosecha y clasificación de los mini tubérculos

La cosecha consistió en remover el sustrato y recolectar los minitubérculos manualmente. Luego se categorizó con base al peso de los minitubérculos (figura 5).



Figura 5. Categorización de minitubérculos.

Cuadro 5. Clasificación de los minitubérculos de papa con base al peso.

Categoría de los minitubérculos	Peso (g)
Primera	Mayores de 15.1 g
Segunda	Mayores de 10.1 hasta 15 g
Tercera	Mayores de 5.1 hasta 10 g
Cuarta	Menores de 5 g

Fuente: CIP (2015).

3.3. Metodología estadística

3.3.1. Diseño estadístico

Se utilizó un Diseño de Bloques Completamente al Azar con Arreglo Bifactorial 3 x 4, con tres niveles para el factor A (variedades de papa: Atlanta, Granola y Soloma), y cuatro niveles para el factor B (número de tallos: dos tallos, tres tallos, cuatro tallos y un testigo al cual no se le realizó ninguna poda de tallos), totalizando 12 tratamientos distribuidos en cuatro bloques, para un total de 48 unidades experimentales.

Cada bloque tenía 12 jabas (unidad experimental), en total fueron 48 unidades experimentales, que se manejaron de igual forma asegurándose que la variación del experimento se debiera únicamente a los tratamientos en estudio. El área total del experimento fue de 30 m², con 6 m de largo y 5 m de ancho (figura 13). Cada jaba de polietileno medía 0.31 m de ancho x 0.51 m de largo x 0.10 m de profundidad, conteniendo un volumen de 20 litros de sustrato y un área por jaba de 0.15 m² (figura 6).

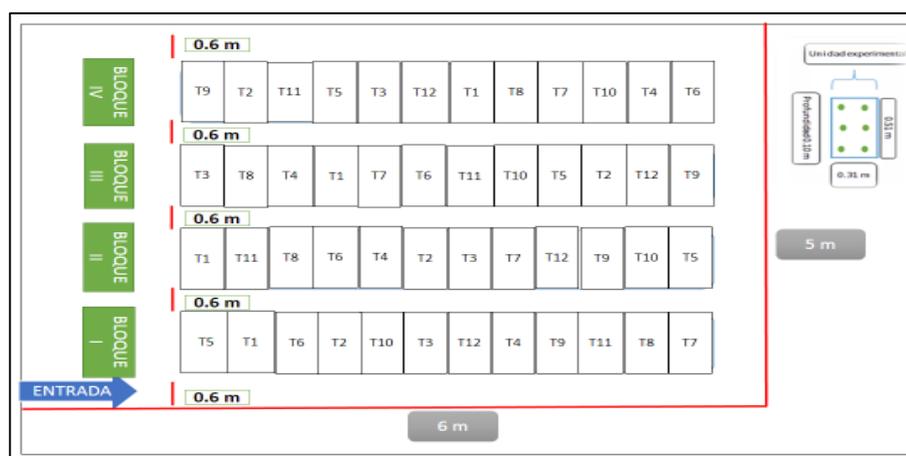


Figura 6. Diseño del experimento.

3.3.2. Tratamientos en estudio

Estos fueron las combinaciones de las tres variedades de papa Atlanta, Granola y Soloma, y tres diferentes números de tallos (dos tallos, tres tallos, cuatro tallos y un testigo al cual no se le realizó ninguna poda de tallos), sembrando seis minitubérculos por unidad experimental (cuadro 6).

Cuadro 6. Tratamientos en estudio

Variedad (factor A)	Número de tallos (factor B)	Tratamientos
Atlanta	2	T = 1 Atlanta x 2 tallos
	3	T = 2 Atlanta x 3 tallos
	4	T = 3 Atlanta x 4 tallos
	Testigo	T = 4 Atlanta x testigo
Granola	2	T = 5 Granola x 2 tallos
	3	T = 6 Granola x 3 tallos
	4	T = 7 Granola x 4 tallos
	Testigo	T = 8 Granola x testigo
Soloma	2	T = 9 Soloma x 2 tallos
	3	T = 10 Soloma x 3 tallos
	4	T = 11 Soloma x 4 tallos
	Testigo	T = 12 Soloma x testigo

Fuente: Elaboración propia (2020).

3.3.3. Modelo estadístico

El modelo estadístico para un diseño de bloques completamente al azar con arreglo bifactorial se representa con la siguiente fórmula matemática (Argüelles y Carvajal 2013). (cuadro A-5).

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_i + A_j + B_k + (A*B)_{jk} + \epsilon_{ijk}$$

En donde:

Y_{ijk} = es la observación perteneciente al k-ésimo nivel del factor B, el J-ésimo del factor A, en la réplica de i.

M = Es la media general.

β_i = es el efecto debido al i-ésimo bloque.

A_j = es el efecto debido al j-ésimo nivel del factor A.

B_k = efecto debido al k-ésimo nivel del factor B.

$(AB)_{jk}$ = efecto de la interacción entre el k-ésimo nivel del factor B y el j-ésimo del factor A

ϵ_{ijk} = es el error experimental.

3.3.4. Prueba estadística

Se utilizó el software InfoStat y la prueba estadística de medias de Tukey para identificar las diferencias significativas que se presentaron en la investigación y para el análisis respectivo de los resultados.

3.4. Variables morfológicas

Las variables que se midieron fueron:

- Diámetro del tallo. Esta variable fue tomada durante la etapa vegetativa de la planta hasta el desarrollo de los minitubérculos y se tomó a una altura de 20 cm desde el nivel del sustrato. Se utilizó un Vernier electrónico, se midió en milímetros, se realizó desde la 3^a semana después de la siembra hasta la semana 11.
- Números de hojas. Se realizó un conteo de las hojas de cada planta, a partir de la tercera semana después de la siembra, hasta la semana 11.
- Altura de la planta. Se midió a partir de la 3^a semana después de la siembra, tomando datos hasta la semana 11 y se ejecutó con cinta métrica en centímetros desde la superficie del sustrato hasta el meristemo apical del tallo.

3.5. Variables de producción

Las variables que se midieron fueron:

- Número de minitubérculos por variedad.
- Número de minitubérculos por planta.
- Número de minitubérculos por tallo.
- Peso total de los minitubérculos. Se pesaron todos los minitubérculos cosechados para su posterior categorización.
- Diámetro de los minitubérculos. Se midió el diámetro ecuatorial de los minitubérculos cosechados.
- Número de minitubérculos y rendimiento por m². Se contó el número de minitubérculos por tratamiento para determinar la producción y el peso que se obtiene en un área de 0.15 m², para luego hacer la conversión a m².

4. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados de la investigación se analizaron en tres partes: en la primera se evaluó la fase vegetativa donde se midieron las variables siguientes: diámetro del tallo, número de hojas y altura de la planta; la segunda parte evaluó la fase reproductiva: número de minitubérculos por variedad, número de minitubérculos por tallo, peso promedio de los minitubérculos. En la tercera parte se clasificaron los minitubérculos de acuerdo al peso en las diferentes categorías: primera, segunda, tercera y cuarta, por último, se contabilizó el rendimiento obtenido en un metro cuadrado.

4.1. Fase vegetativa

La CIP (1988) reporta que la fisiología ambiental vegetal de la papa se refiere a los procesos de crecimiento y desarrollo controlados por el genotipo de la planta (especie, variedad o clon), y modulados por el ambiente dentro del cual se desarrolla. A pesar de que por ambiente se entiende un conjunto de factores físicos y bióticos que actúan sobre los organismos vivos, la fisiología ambiental vegetal se refiere a las respuestas de las plantas a los factores climáticos como radiación solar, temperatura, humedad y aire que operan en el ambiente atmosférico que los rodea.

4.1.1. Diámetro del tallo

Según los resultados obtenidos en esta investigación, los mayores diámetro de tallo se obtuvieron en la variedad Atlanta con una media de 6.13 mm, seguido por la variedad Soloma con 4.93 mm y luego por la variedad Granola con 4.88 mm (figura 7).

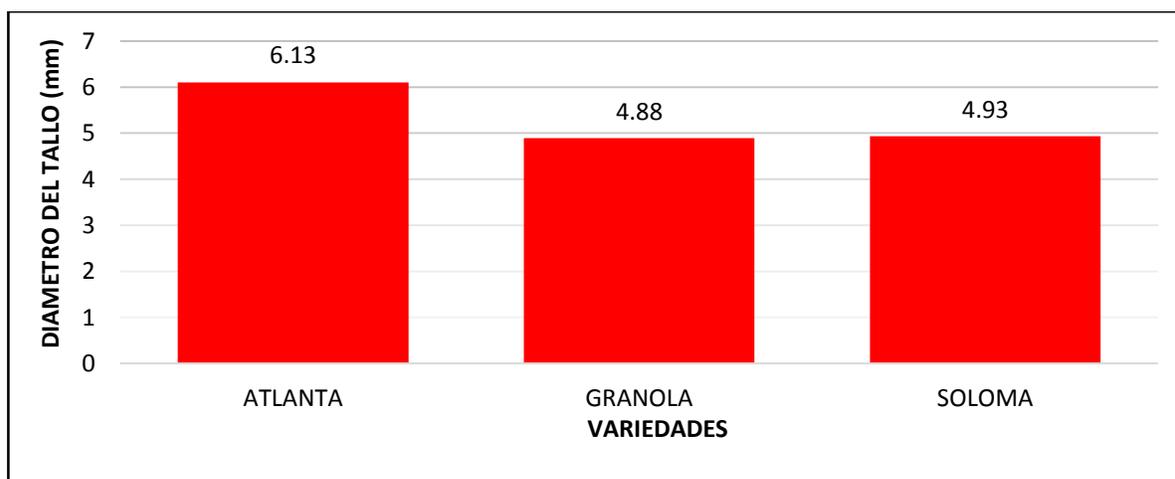


Figura 7. Diámetro del tallo de las tres variedades de papa.

El análisis de varianza, con un coeficiente de variación de 9.32%, mostró que el factor diámetro del tallo de las tres variedades de papa presentó diferencias estadísticas significativas (cuadro 7).

Cuadro 7. Análisis de varianza para la variable diámetro del tallo.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F calculada	Valor de probabilidad
Modelo	22.44	14	1.60	6.54	< 0.0001
Bloque	3.26	3	1.09	4.42	0.0325
Variedades	15.81	2	7.90	32.22	< 0.0001
Número de tallos	0.18	3	0.06	0.25	0.8636
Variedades por número de tallos	3.20	6	0.53	2.18	0.0706
Error	8.09	33	0.25		
Total	30.54	47			

La comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$), demuestra que hay diferencias estadísticas entre las tres variedades de papa (cuadro 8).

Cuadro 8. Prueba de Tukey para variedades de papa.

Variedad	Medias	Número de valores	Error experimental
Granola	4.88	16	0.12 A
Soloma	4.93	16	0.12 A
Atlanta	6.13	16	0.12 B

Según Pérez (2018), el tallo de las variedades Atlanta y Granola son erectos y muy robustos (gruesos), y los tallos de la variedad Soloma son rectos y angostos (delgados). Esto se debe a que los genotipos presentan diferentes características morfológicas ya que la variedad Atlanta tiende a producir de uno a dos tallos por semilla sembrada. Esta característica le da la ventaja de que no exista mucha competencia de nutrientes entre ellas.

4.1.2. Diámetro del tallo con diferentes números de tallo

Según los resultados obtenidos en esta investigación, los mayores diámetro de tallo se obtuvieron con las plantas testigo (al cual no se le realizó ninguna poda de tallos) con una media de 5.37 mm, seguido por las plantas que tenían cuatro tallos con 5.35 mm, luego las plantas con tres tallos con una media de 5.33 mm y por último las plantas con dos tallos con 5.21 mm (figura 8).

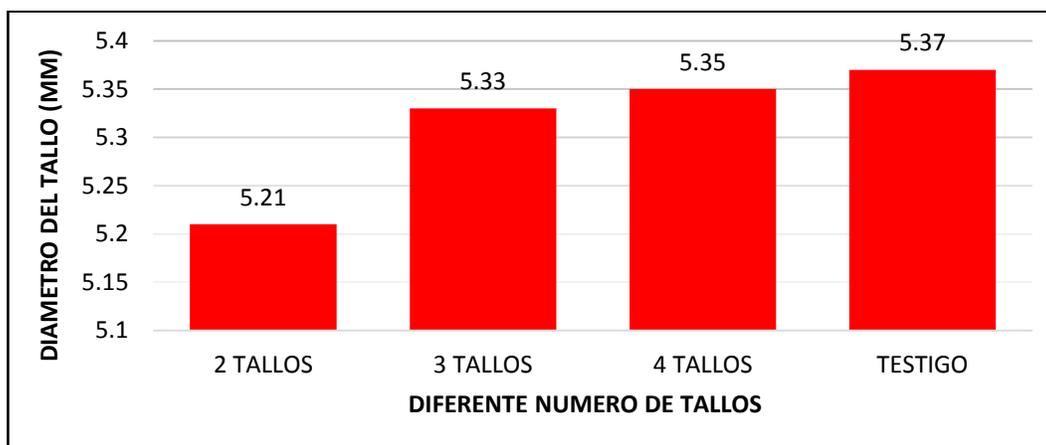


Figura 8. Diámetro del tallo con diferentes números de tallo.

La comparación de medias de Tukey demostró que no existe diferencia estadística entre el número de tallos (cuadro A-6).

Fariña (2009) menciona que el sistema de tallos de la papa consta de tallos, estolones y tubérculos. Las plantas provenientes de semilla verdadera tienen sólo un tallo principal, mientras que las provenientes de tubérculos-semilla pueden producir varios tallos. Los tallos laterales son ramas de los tallos principales.

Menjivar y Zepeda (2016) utilizaron plantas in vitro (Generación 0) sembradas en macetas, y obtuvieron un diámetro de 4.06 mm en la variedad Soloma, no obstante los datos que se presentaron en la investigación fueron mayores tomando en consideración que la siembra se realizó en jabas.

4.1.3. Interacción entre variedad y número de tallos

Según los resultados obtenidos en esta investigación, los mayores diámetro de tallo se obtuvieron en la interacción de la variedad Atlanta y el Testigo (Tratamiento 4) con una media de 6.58 mm, seguido por la interacción de la variedad Atlanta y cuatro tallos (Tratamiento 3) con 6.43 mm, luego la interacción de la variedad Atlanta y dos tallos (Tratamiento 1) con una media de 5.75 mm y por último la interacción de la variedad Atlanta y tres tallos (Tratamiento 3) con 5.74 mm (figura 9)..

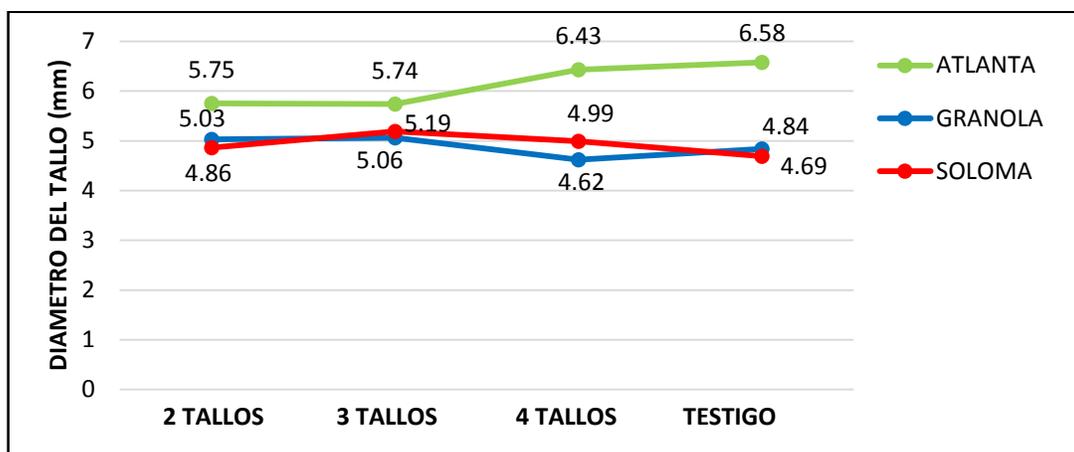


Figura 9. Diámetro de tallo e interacción de las tres variedades de papa con diferente número de tallos.

La comparación de medias de Tukey demostró diferencias estadísticas entre las variedades y número de tallos. Las interacción entre la variedad Atlanta con Testigo y cuatro tallos presentaron mayores diámetros (cuadro 9).

Cuadro 9. Prueba de Tukey en la interacción de tres variedades de papa con diferente número de tallos.

Variedad	Número de tallos	Media	Número de valores	Error experimental
Granola	4	4.62	4	0.25 A
Soloma	Testigo	4.69	4	0.25 A
Granola	Testigo	4.84	4	0.25 A
Soloma	2	4.86	4	0.25 A
Soloma	4	4.99	4	0.25 A
Granola	2	5.03	4	0.25 A
Granola	3	5.06	4	0.25 A
Soloma	3	5.19	4	0.25 A
Atlanta	3	5.74	4	0.25 A B
Atlanta	2	5.75	4	0.25 A B
Atlanta	4	6.43	4	0.25 A B
Atlanta	Testigo	6.58	4	0.25 B

4.1.4. Número de hojas

Según los resultados obtenidos en esta investigación, el mayor número de hojas se obtuvieron en la variedad Atlanta con una media de 15.94 hojas, seguido por la variedad Granola con 11.63 hojas y luego la variedad Soloma con 11.50 hojas (figura 10).

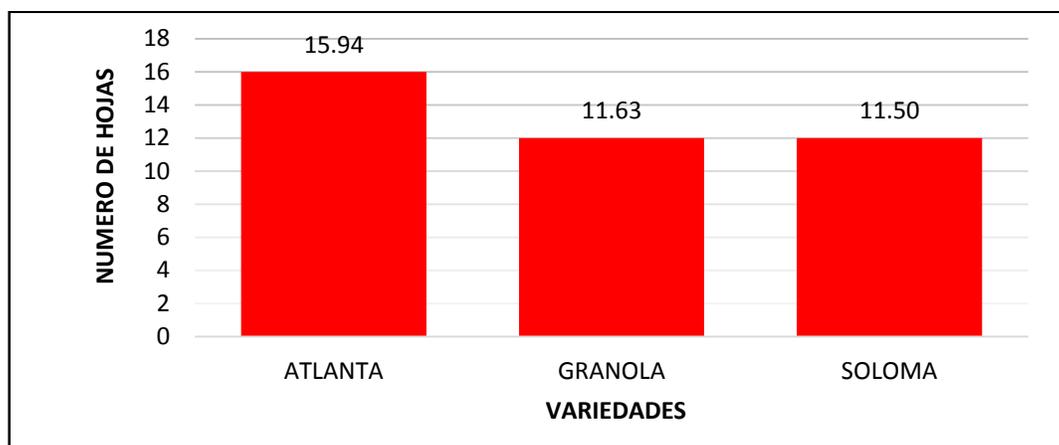


Figura 10. Número de hojas en las tres variedades de papa.

El análisis de varianza, con un coeficiente de variación de 14.77%, demostró que el factor número de hojas en las tres variedades de papa presentaron diferencias altamente significativas (cuadro 10).

Cuadro 10. Análisis de varianza para el número de hojas en las tres variedades de papa.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F calculada	Valor de probabilidad
Modelo	221.46	14	15.82	4.30	0.0003
Bloque	6.23	3	2.08	0.56	0.6427
Variedades	204.29	2	102.15	27.74	< 0.0001
Número de Tallos	1.23	3	0.41	0.11	0.9529
Variedades por número de Tallos	9.71	6	1.62	0.44	0.8471
Error	121.52	33	3.68		
Total	342.98	47			

La prueba de comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$), demuestra que no existen diferencias estadísticas entre el número de hojas en las tres variedades de papa (cuadro A-7).

Aldabe y Dogliotti (2001) mencionan que el crecimiento del follaje en las primeras etapas del desarrollo es sostenido por las reservas acumuladas en el tubérculo, y permite que en condiciones óptimas de temperatura (de 20° a 23° C) la expansión del área foliar sea muy rápida. Al irse consumiendo las reservas y aumentando el área foliar fotosintéticamente activa, esta pasa a ser la fuente principal de asimilados.

Lo anterior puede estar asociado con la estabilidad de la variedad para expresión de la variable. Las hojas se originan en los meristemos apicales del tallo, el desarrollo de las hojas está ligado inicialmente a la aparición de los primordios foliares en el ápice

Menjivar y Zepeda (2016) demostraron que bajo la técnica de hidroponía y en condiciones de invernadero el número de hojas por planta en la variedad de papa Soloma es de 13.25.

Vásquez (2017) demostró que bajo la técnica de hidroponía y en condiciones de invernadero la variedad Soloma presenta un promedio de 11.38 hojas por planta y la variedad Granola un total de 12.69 hojas por planta.

4.1.5. Número de hojas con diferentes números de tallo

Según los resultados obtenidos, el mayor número de hojas se obtuvo en las plantas que tenían dos tallos con una media de 13.25 hojas, seguido del Testigo (al cual no se le realizó ninguna poda de tallos) con 13.08 hojas, luego las plantas que se dejaron con tres tallos con una media de 12.92 hojas y por último las plantas de cuatro tallos con 12.83 hojas (figura 11).

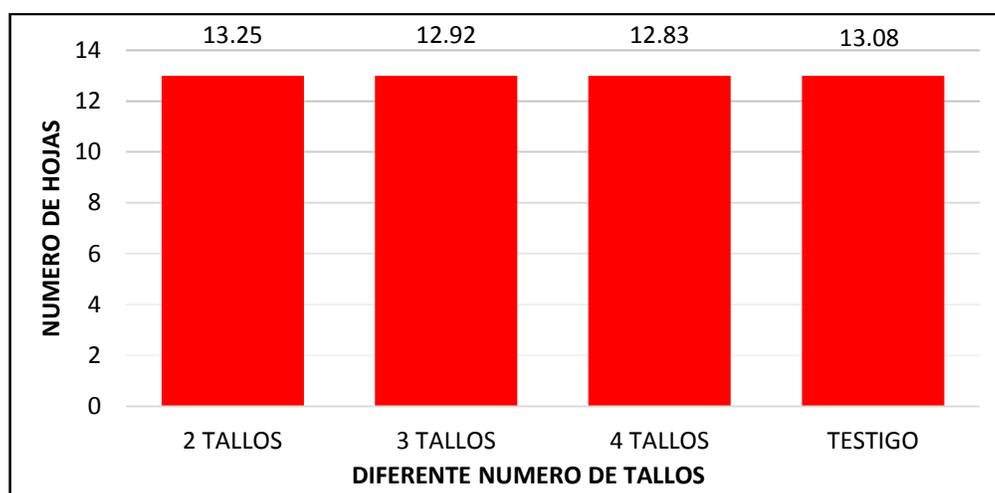


Figura 11. Número de hojas con diferentes números de tallo.

La prueba de comparación de medias de Tukey demuestra que no existen diferencias estadísticas entre el número de hojas de las tres variedades de papa con diferentes números de tallo (cuadro A-8).

El crecimiento del tubérculo está relacionado con el incremento en la capacidad fotosintética de las hojas de la planta, sin embargo, al momento de la iniciación del tubérculo la tasa de

fotosíntesis disminuye, pero hay un periodo máximo de fotosíntesis en la etapa de floración que presenta una relación lineal con el llenado del tubérculo (Carrera 2001).

Según Fariña (2009), las hojas son expansiones laminares donde se realiza la mayor parte de la fotosíntesis y transpiración de la planta.

4.1.6. Número de hojas en la interacción entre variedad y número de tallos.

Según los resultados obtenidos, los mejores resultados en cuanto al número de hojas se presentaron en la interacción de la variedad Atlanta y el Testigo (Tratamiento 4) con una media de 16.75 hojas, seguido por la interacción de la variedad Atlanta y dos tallos (Tratamiento 1) con 16.50 hojas, luego las interacciones de la variedad Atlanta con tres y cuatro tallos (Tratamientos 2 y 3) con una media de 15.25 hojas. La interacción de la variedad Soloma con dos tallos (Tratamiento 9) con una media de 11.25 hojas fue la que presentó menores resultados (figura 12).

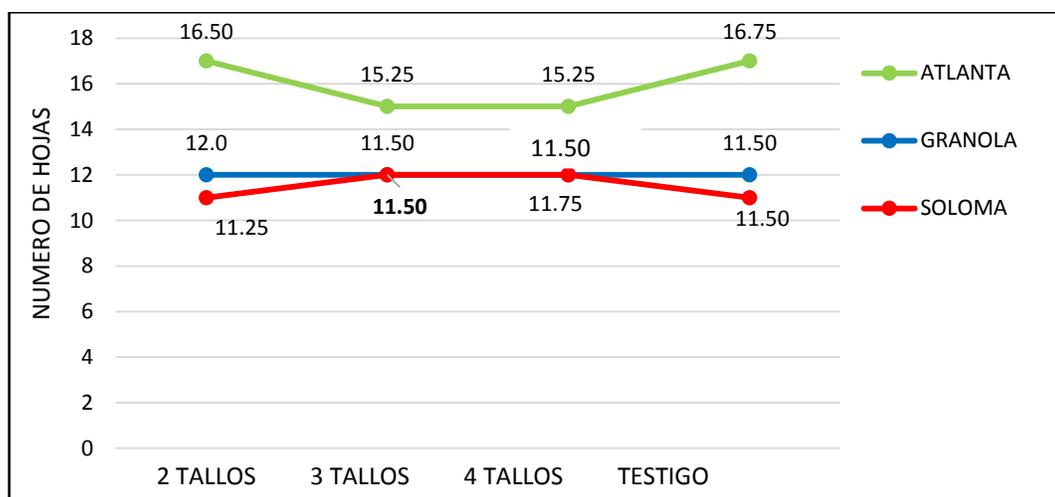


Figura 12. Número de hojas en la interacción entre variedades de papa con número de tallos.

La prueba de comparación de medias de Tukey demuestra que no existe diferencia estadística entre el número de hojas en la interacción entre variedades de papa con diferente número de tallos (cuadro A-9).

Según Pérez (2009), la fotosíntesis es el proceso fisiológico de elaboración de alimentos por parte de las plantas. Para realizar la fotosíntesis los vegetales necesitan clorofila, que es una sustancia de color verde presente generalmente en las hojas y es la encargada de absorber la luz adecuada para promover la generación de carbohidratos a partir del CO_2 , gas que es tomado por las plantas desde la atmósfera.

4.1.7. Altura de la planta

Según los resultados obtenidos, la mayor altura de las plantas de papa se obtuvo en la variedad Atlanta con una media de 44.50 cm, seguido por la variedad Soloma con 39.84 cm y por último la variedad Granola con 37.79 cm (figura 13).

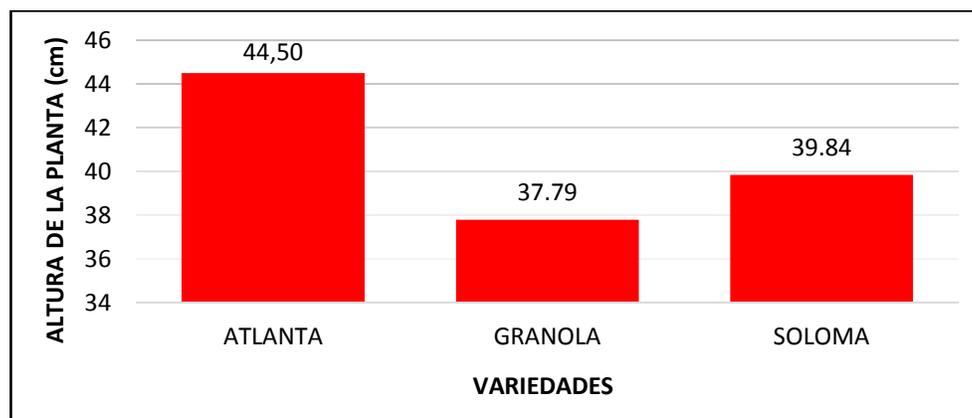


Figura 13. Altura de las plantas de las tres variedades de papa.

El análisis de varianza, con un coeficiente de variación de 10.52%, demostró que el factor altura de las plantas de las tres variedades de papa presento diferencias altamente significas (cuadro 11).

Cuadro 11. Análisis de varianza para la variable altura de las plantas.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F calculada	Valor de probabilidad
Modelo	684.59	14	48.90	2.66	<0.0001
Bloque	181.32	3	60.44	3.29	0.0325
Varietales	378.50	2	189.25	10.31	<0.0001
Número de Tallos	11.86	3	3.95	0.22	0.8850
Varietales por número de Tallos	112.92	6	18.82	1.03	0.4263
Error	605.64	33	18.35		
Total	1290.22	47			

La prueba de comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$) demostró que la mayor altura de plantas se obtuvo con la variedad Atlanta, y las variedades Granola y Soloma estadísticamente se comportan igual (cuadro 12).

Cuadro 12. Prueba de Tukey para el factor altura de plantas.

Variedad	Media	Número de valores	Error experimental
Granola	37.79	16	1.07 A
Soloma	39.83	16	1.07 A
Atlanta	44.50	16	1.07 B

Muñoz (2016) plantea que en las variedades de papa en estudio (Atlanta, Granola y Soloma), la altura de las plantas puede estar asociado con la expresión genética de la variedad por el sometimiento a un ambiente controlado.

Paredes *et. al.* (2001) demostraron que la variedad Fripapa obtiene el valor promedio más alto en altura de planta con 90.92 cm frente a la variedad Raymipapa que obtuvo un valor de 73.62 cm. Mencionan además que las plantas que se desarrollaron en un sistema convencional obtuvieron la mayor altura de planta con 117 cm, y las que se desarrollaron en el sistema hidropónico midieron 47.47 cm.

Pérez (2018) menciona, que entre las características morfológicas de la papa, la altura de las plantas de la variedad Granola es de 35-60 cm, para la variedad Atlanta 80 cm y en la variedad Soloma puede alcanzar 75 cm.

4.1.8. Altura de la planta con diferentes números de tallo

Los resultados obtenidos en esta investigación mostraron que las plantas con dos tallos alcanzaron una altura máxima de 41.36 cm, seguido por las plantas con tres tallos con una media de 40.77 cm, luego las plantas Testigo (al cual no se le realizó ninguna poda de tallos) con 40.73 cm, y por último las plantas con cuatro tallos que alcanzaron 39.96 cm (figura 14).

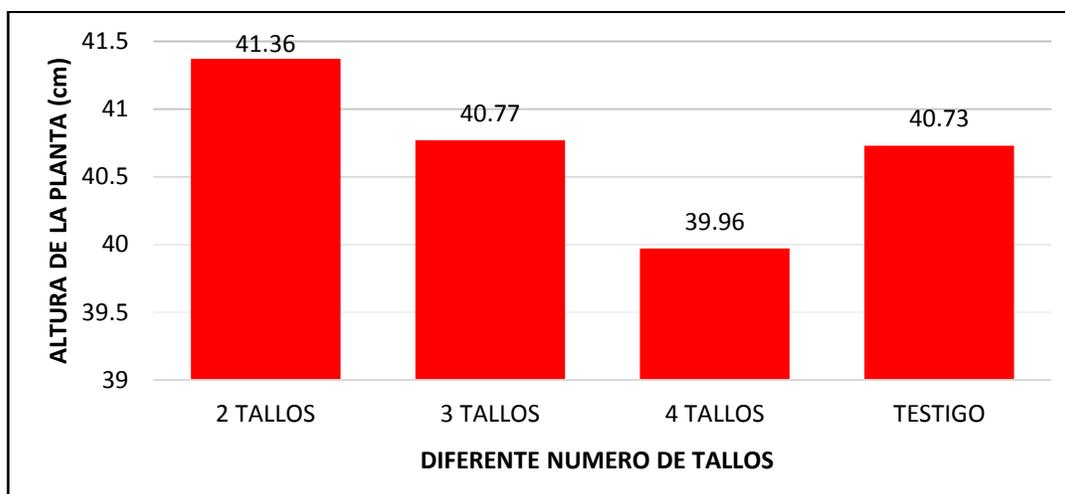


Figura 14. Altura de la planta con diferentes números de tallo.

La prueba de comparación de medias de Tukey demostró que no existen diferencias estadísticas entre la altura de las plantas con diferentes números de tallo (cuadro A-10).

Ellisseche (2002) evaluó el comportamiento de la altura de las plantas en tres variedades de papa mejoradas de Perú bajo cultivo sin suelo y encontró que las variedades Perricholi, Canchan y Yungay alcanzaron 146.5 cm, 146.9 cm y 155.6 cm, respectivamente.

4.1.9. Altura de la planta en la interacción variedad y número de tallos

Según los resultados obtenidos, las mayores alturas de las plantas de papa se obtuvieron con la interacción de la variedad Atlanta y el Testigo (Tratamiento 4) con una media de 47.70 cm, seguido por la interacción de la variedad Atlanta y cuatro tallos (Tratamiento 3) con 44.27 cm, luego la interacción de la variedad Atlanta y dos tallos (Tratamiento 1) con una media de 43.66 cm y por último la interacción de la variedad Atlanta y tres tallos (Tratamiento 2) con 42.37 cm. (figura 15).

Esto se debe a que la variedad Atlanta no produce más de dos tallos y por ello su crecimiento fue mayor en comparación con las variedades Granola y Soloma, debido a que estas tienen la capacidad de producir más de cuatro tallos por semilla sembrada y es por ello que se incrementa la competencia de todos los elementos que la planta requiere para su crecimiento como agua, nutrientes, luz y espacio.

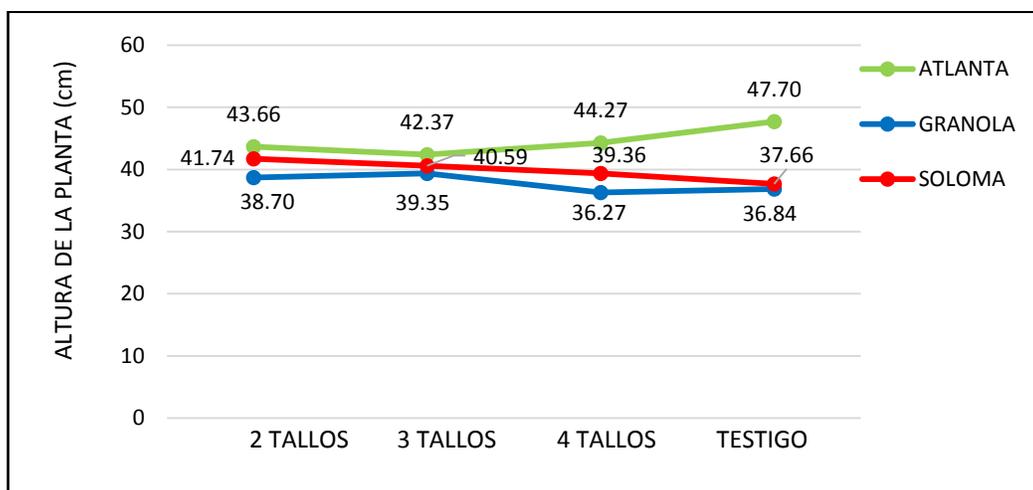


Figura 15. Altura de la planta en la interacción de las tres variedades de papa con diferente número de tallos.

Al realizar la comparación de medias de Tukey se encontraron diferencias estadísticas significativas (cuadro 13).

Cuadro 13. Prueba de Tukey para la altura de las plantas de papa en la interacción variedad y número de tallos.

Variedades	Número de Tallos	Medias	Número de valores	Error experimental
Granola	4	36.27	4	2.14 A
Granola	Testigo	36.84	4	2.14 A
Soloma	Testigo	37.66	4	2.14 A B
Granola	2	38.70	4	2.14 A B
Granola	3	39.35	4	2.14 A B
Soloma	4	39.36	4	2.14 A B
Soloma	3	40.59	4	2.14 A B
Soloma	2	41.74	4	2.14 A B
Atlanta	3	42.37	4	2.14 A B
Atlanta	2	43.66	4	2.14 A B
Atlanta	4	44.27	4	2.14 A B
Atlanta	Testigo	47.70	4	2.14 B

Según el CIP (1988), el desarrollo de la parte vegetativa de la papa es más rápido a altas temperaturas, la cual se maximiza alrededor de los 18° C; en el invernadero se superaron estas temperaturas.

4.2. Fase reproductiva

El rendimiento se entiende como un proceso fisiológico complejo determinado por el genotipo, el ambiente y la interacción de éstos (Milton y Allen 1995).

4.2.1. Número de minitubérculos por variedad

Los resultados en esta investigación demuestran que la variedad Soloma presentó el mayor número de minitubérculos con una media de 36.38 minitubérculos, seguido por la variedad Granola con 26.75 minitubérculos y por último la variedad Atlanta con una media de 13.44 minitubérculos (figura 16).

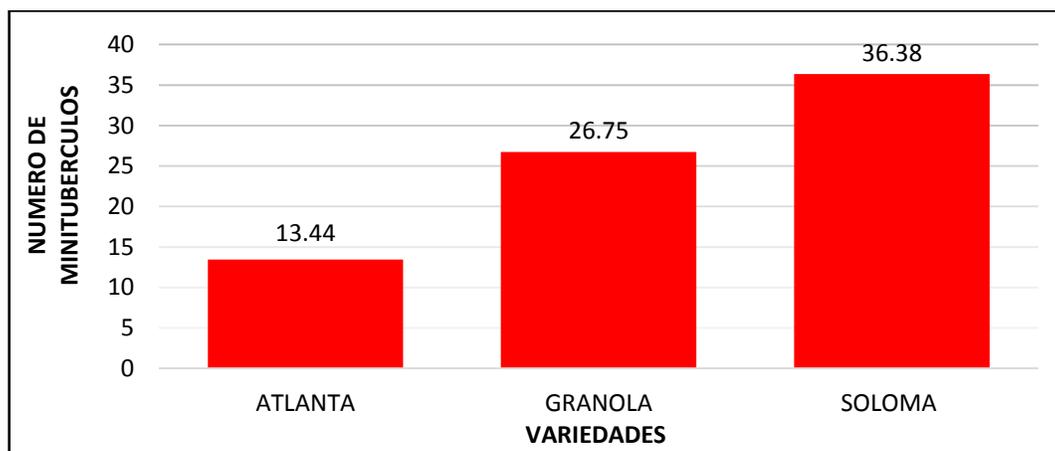


Figura 16. Número de minitubérculos en las tres variedades de papa.

El análisis de varianza, con un coeficiente de variación de 18.31%, demostró que el factor número de minitubérculos en las tres variedades de papa presentó diferencias altamente significativas (cuadro 14).

Cuadro 14. Análisis de varianza para la variable número de minitubérculos por variedad.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F calculada	Valor de probabilidad
Modelo	2038.96	14	145.64	8.83	<0.0001
Bloque	81.90	3	27.30	1.65	0.1957
Variedades	1838.63	2	919.31	55.73	<0.0001
Número de Tallos	81.06	3	27.02	1.64	0.1994
Variedades por número de Tallos	37.38	6	6.23	0.38	0.8879
Error	544.35	33	16.50		
Total	2583.31	47			

La prueba de comparación de medias de Tukey demuestra que existen diferencias significativas entre el número de minitubérculos por variedad (cuadro 15).

Cuadro 15. Prueba de Tukey para el factor número de minitubérculos por variedad.

Variedades	Medias	Número de valores	Error experimental
Soloma	36.38	16	1.07 A
Granola	26.75	16	1.07 A
Atlanta	13.44	16	1.07 B

El CIP (1988) afirma que uno de los factores que permite expresar el potencial productivo de la papa es la temperatura (mayor a 20° C en la noche), ya que inhibe la tuberización.

4.2.2. Número de minitubérculos con diferentes números de tallo

Según los datos obtenidos en la investigación, el mayor número de minitubérculos se obtuvo en las plantas que tenían cuatro tallos con un promedio de 24.17, seguido por las plantas que tenían dos tallos con 22.42 minitubérculos, luego las plantas que tenían tres tallos con un promedio de 21.50 minitubérculos y por último las plantas testigo (al cual no se le realizó ninguna poda de tallos) con 20.67 minitubérculos (figura 17).

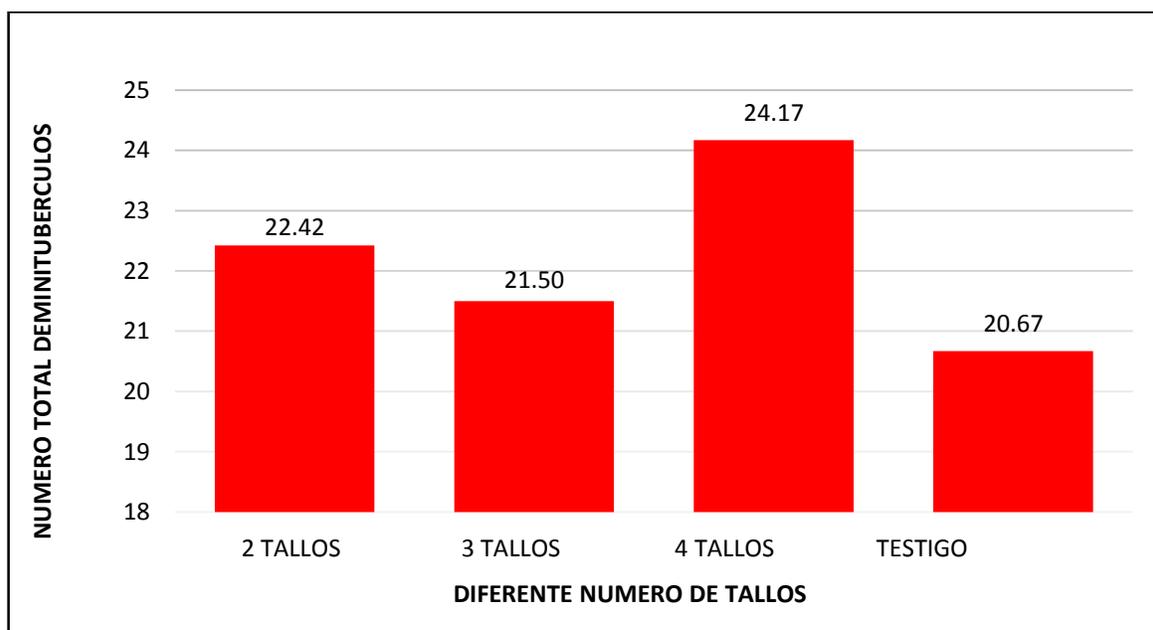


Figura 17. Número de minitubérculos con diferentes números de tallo.

La comparación de medias de Tukey demostró que no existe diferencia estadística entre el número de tallos (cuadro A-11).

Según Parsons (1984), la variable número tallos se relaciona con el número de minitubérculos, mientras más tallos tenga la planta, aumenta el número de minitubérculos por tallo, pero disminuye generalmente el número de minitubérculos por unidad de área.

4.2.3. Número de minitubérculos en la interacción variedad y número de tallos

Según los resultados obtenidos, el mayor número de mini tubérculos se obtuvo con la interacción de la variedad Soloma con cuatro tallos (Tratamiento 12) con una media de 28.5 minitubérculos, seguido por la interacción de la variedad Soloma y dos tallos (Tratamiento 9) con 27.75 minitubérculos, luego la interacción de la variedad Soloma y tres tallos (Tratamiento 10) con una media de 27 minitubérculos y por último la interacción de la variedad Soloma y el Testigo (Tratamiento 11) con 24.5 minitubérculos (figura 18).

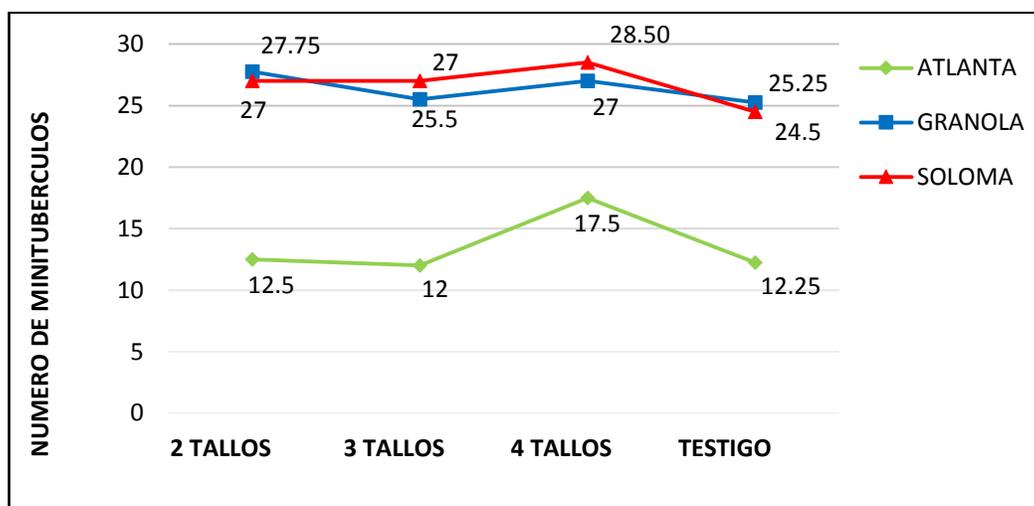


Figura 18. Número de minitubérculos en la interacción variedad con número de tallos.

Al realizar la comparación de medias de Tukey para la interacción de las tres variedades de papa con diferentes números de tallos se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) (cuadro 16).

Cuadro 16. Prueba de Tukey en la interacción variedad con número de tallos.

Variedades	Número de Tallos	Medias	Número de valores	Error experimental
Soloma	4	28.50	4	2.03 A
Granola	2	27.75	4	2.03 A
Granola	4	27.00	4	2.03 A B

Soloma	2	27.00	4	2.03	A	B
Soloma	3	27.00	4	2.03	A	B
Granola	3	25.50	4	2.03	A	B
Granola	Testigo	25.25	4	2.03	A	B
Soloma	Testigo	24.50	4	2.03	A	B
Atlanta	4	17.00	4	2.03	B	C
Atlanta	2	12.50	4	2.03		C
Atlanta	Testigo	12.25	4	2.03		C
Atlanta	3	12.00	4	2.03		C

Según Allen (1978), el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo de papa depende de la interacción del genotipo de la variedad y los factores agroecológicos para producir rendimientos de óptima calidad, ya que las plantas requieren un adecuado suministro de recursos del suelo (agua y nutrientes minerales) y recursos de la atmósfera.

4.2.4. Número de minitubérculos por planta

Según los datos obtenidos, la variedad de papa que obtuvo el mayor número de minitubérculos por planta fue Soloma con un promedio de 4.63 minitubérculos, luego la variedad Granola con 4.44 minitubérculos por planta y por último la variedad Atlanta con un promedio de 2.75 minitubérculos por planta (figura 19).

Esto se debe a que la variedad Soloma es la que más se adapta a las condiciones climáticas de El Salvador, ya que requiere de una elevación mínima de 550 metros sobre el nivel del mar.

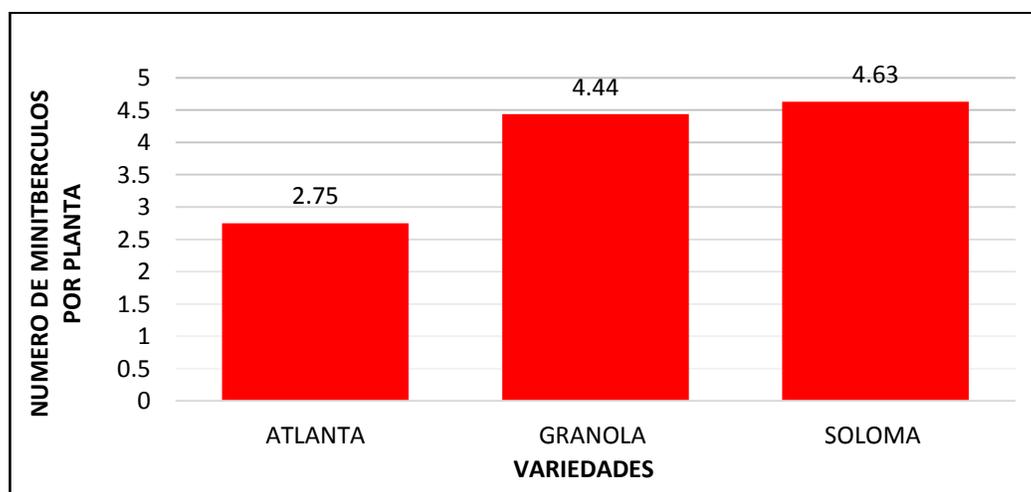


Figura 19. Número de mini tubérculos por planta de tres variedades de papa.

El análisis de varianza, con un coeficiente de variación de 19.03%, demostró que el factor variedad presentó diferencias altamente significativas (cuadro 17).

Cuadro 17. Análisis de varianza para la variable número de minitubérculos por planta.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F calculada	Valor de probabilidad
Modelo	40.29	14	2.88	5.13	0.0001
Bloque	2.23	3	0.74	1.32	0.2832
Variedades	34.13	2	17.06	30.40	<0.0001
Número de Tallos	2.56	3	0.84	1.52	0.2270
Variedades por número de Tallos	1.38	6	0.23	0.47	0.8681
Error	18.52	33	0.56		
Total	58.81	47			

La prueba de comparación de medias de Tukey identificó que existen diferencias estadísticas entre las variedades de papa (cuadro 18).

Cuadro 18. Prueba de Tukey para el factor variedades.

Variedades	Medias	Número de valores	Error experimental
Soloma	4.63	16	0.19 A
Granola	4.44	16	0.19 A
Atlanta	2.75	16	0.19 B

La variedad Soloma obtuvo mayor producción de minitubérculos porque esta variedad presenta características altas de producción (Kadaja y Tooming 2004).

4.2.5. Número de minitubérculos por planta con diferentes números de tallo

Según los datos obtenidos, las plantas con cuatro tallos obtuvieron mayor número de minitubérculos con un promedio de 4.33 minitubérculos, luego las plantas con dos y tres tallos obtuvieron el mismo promedio de 3.83 minitubérculos y por último las plantas testigo con un promedio de 3.75 minitubérculos (figura 20).

A medida que aumenta el número de tallos por tubérculo sembrado, aumenta también la producción de minitubérculos.

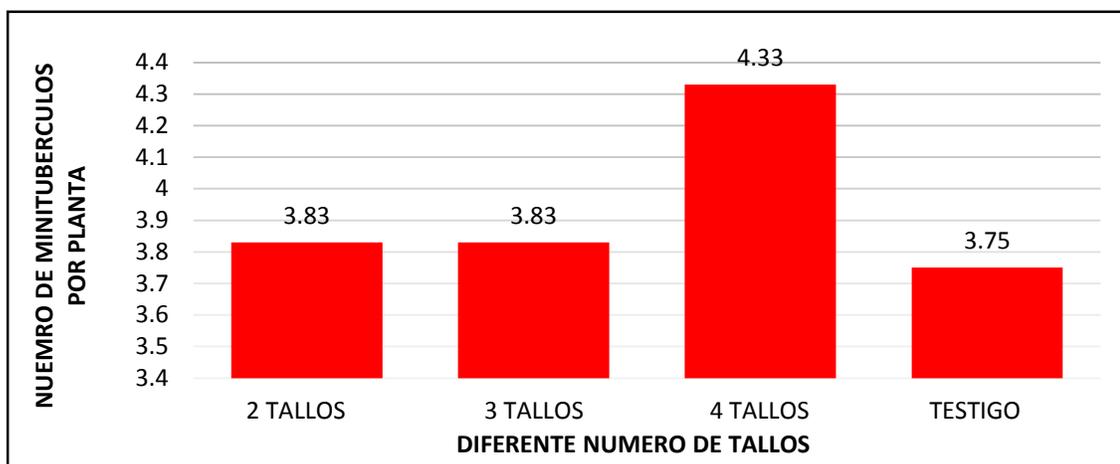


Figura 20. Número de minitubérculos por planta con diferentes números de tallo.

La comparación de medias de Tukey demostró que no existe diferencia estadística alguna entre el número de tallos (cuadro A-12).

4.2.6. Número de minitubérculos por planta en la interacción variedad y número de tallos

Los resultados obtenidos en esta investigación muestran que el mayor número de minitubérculos por planta se obtuvo con la interacción de la variedad Soloma con cuatro tallos y el Testigo (Tratamiento 11 y 12) con una media de 4.75 minitubérculos por planta, seguido por la interacción de la variedad Soloma con dos y tres tallos (Tratamiento 9 y 10) con 4.50 minitubérculos por planta (figura 21).

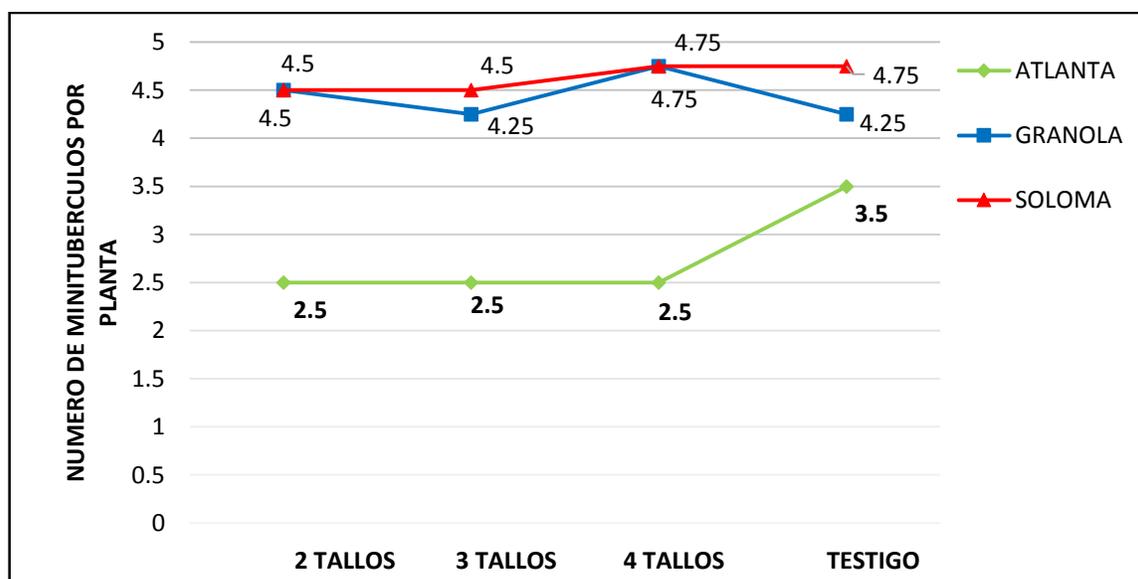


Figura 21. Número de minitubérculos por planta en la interacción variedad con número de tallos.

Al realizar la comparación de medias de Tukey se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) (cuadro 19).

Cuadro 19. Prueba de Tukey en la interacción variedad con número de tallos.

Variedades	Número de Tallos	Medias	Número de valores	Error experimental	
Granola	4	4.75	4	0.37	A
Soloma	3	4.75	4	0.37	A
Soloma	4	4.75	4	0.37	A
Soloma	Testigo	4.50	4	0.37	A
Soloma	2	4.50	4	0.37	A
Granola	2	4.50	4	0.37	A
Granola	3	4.25	4	0.37	A B
Granola	Testigo	4.25	4	0.37	A B
Atlanta	4	3.50	4	0.37	A B
Atlanta	Testigo	2.50	4	0.37	B
Atlanta	2	2.50	4	0.37	B
Atlanta	3	2.50	4	0.37	B

Para Kadaja y Tooming (2004), cada variedad de papa expresa su potencial productivo, por ejemplo, en la variedad Atlanta los alcances fueron menores debido a que esta variedad tiene la característica de formar solo dos tallos, como máximo tres tallos, por tubérculo sembrado.

4.2.7. Número de minitubérculos por tallo

Según los datos obtenidos, la variedad de papa que obtuvo el mayor número de minitubérculos por tallo fue la Soloma con un promedio de 1.81 minitubérculos, luego la Granola con 1.75 minitubérculos por tallo y por último la variedad Atlanta con un promedio de 1.31 minitubérculos por tallo (figura 22).

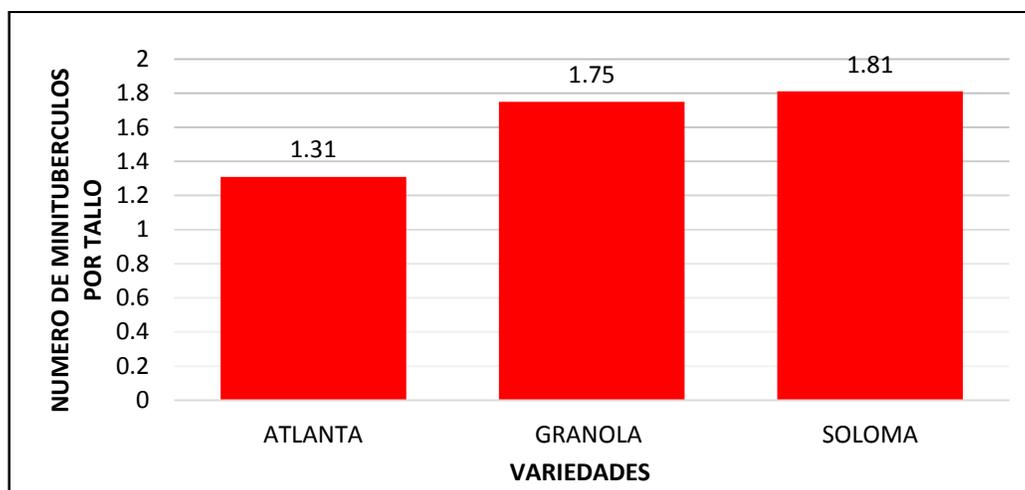


Figura 22. Número de minitubérculos por tallo para tres variedades de papa.

El análisis de varianza, con un coeficiente de variación de 39.48%, mostró que el factor variedad no presentó diferencias significativas (cuadro A-13).

La prueba de comparación de medias de Tukey identifico que no existe diferencia estadística entre las variedades (cuadro A-14).

Según Struik y Wiersema (1999), el número óptimo de tallos por planta para obtener los mejores rendimientos varía de una variedad a otra y este a su vez está determinado por el número de brotes plantados.

4.2.8. Número de minitubérculos por tallo con diferentes números de tallo

Según los datos obtenidos, las plantas con dos tallos obtuvo mayor número de minitubérculos por tallo con un promedio de 2.17 minitubérculos, seguido por las plantas testigo con 1.92 minitubérculos, luego las plantas con tres tallos con un promedio de 1.33 minitubérculos y por último las plantas con cuatro tallos en un promedio de 1.08 minitubérculos (figura 23).

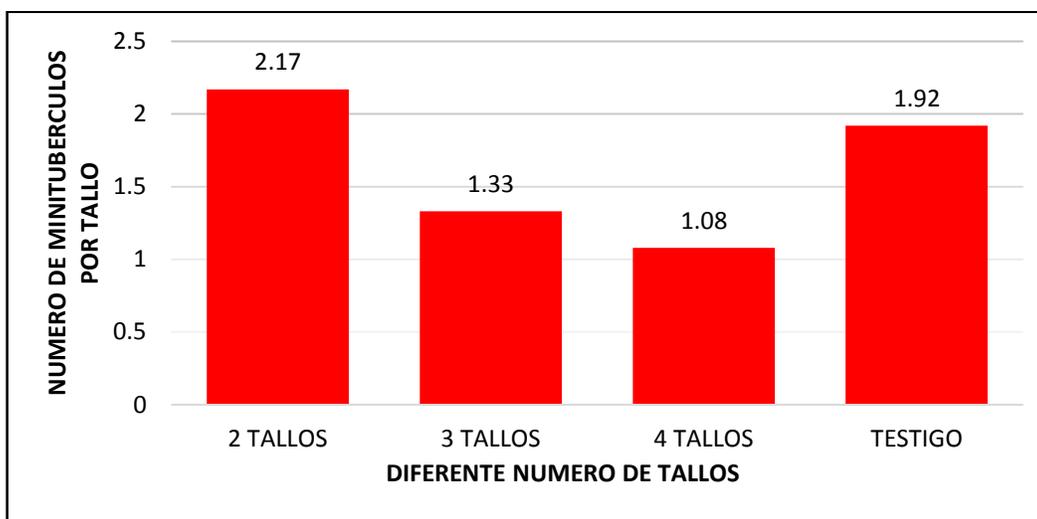


Figura 23. Número de minitubérculos por tallo con diferentes números de tallos.

Las medias de comparación de Tukey mostró diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) (cuadro 20).

Cuadro 20. Prueba de Tukey para el factor número de tallos.

Número de Tallos	Medias	Número de valores	Error experimental
Dos tallos	2.17	12	0.19 A
Testigo	1.92	12	0.19 A B
Tres tallos	1.33	12	0.19 B C
Cuatro tallos	1.08	12	0.19 C

Wiersema (1981) afirma que cuando aumenta la densidad de tallos, aumenta el número de minitubérculos por tallo, y que el número de tubérculos producidos depende de la competencia entre los tallos por los factores de crecimiento como nutrientes, agua y luz.

4.2.9. Número de minitubérculos por tallo en la interacción variedad y número de tallos

Los resultados obtenidos muestran que el mayor número de minitubérculos por tallo se obtuvo en la interacción de la variedad Granola con dos tallos y el Testigo (Tratamientos 5 y 8) y la variedad Soloma y dos tallos (Tratamiento 9) con una media de 2.5 minitubérculos por tallo (figura 24).

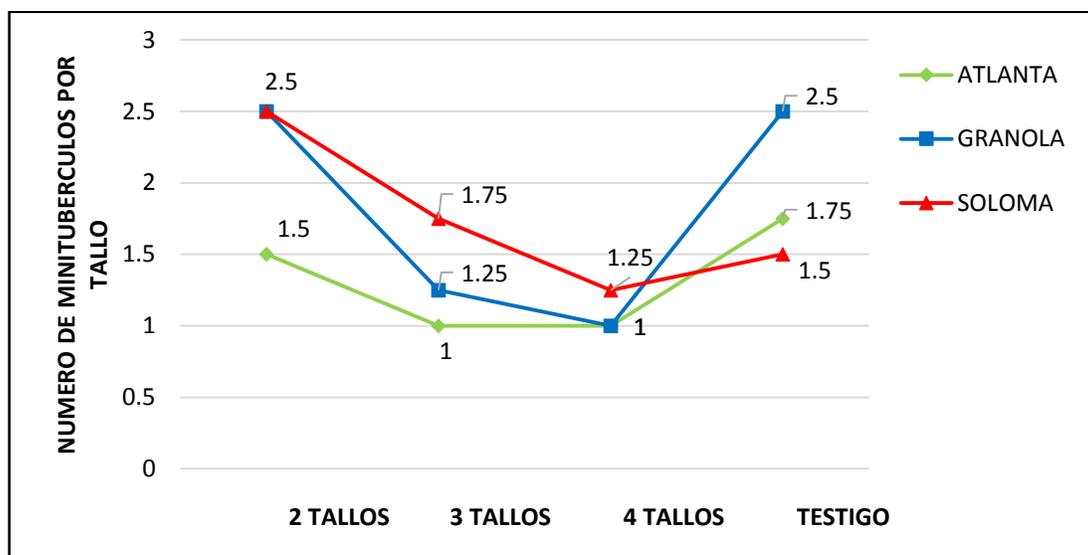


Figura 24. Número de minitubérculos por tallo en la interacción variedad y números de tallos.

Al realizar la comparación de medias de Tukey se encontraron que no existen diferencias estadísticas significativas entre las variedades ($p < 0.05$) (cuadro A-15).

Pumisacho (2002) menciona que la cantidad de tallos producidos por tubérculo es variable, esto dependerá del tamaño de semilla, variedad, número de brotes y método de siembra. Las variedades nativas de Ecuador se caracterizan por generar un gran número de tallos, mientras que las mejoradas tienden a producir de tres a cuatro tallos por tubérculo-semilla.

4.2.10. Peso de los minitubérculos

Según los resultados obtenidos, el mayor peso de los minitubérculos lo obtuvo la variedad Atlanta con una media de 317.81 g, seguido por la variedad Soloma con 171.94 g y por último la variedad Granola con 171 g (figura 25).

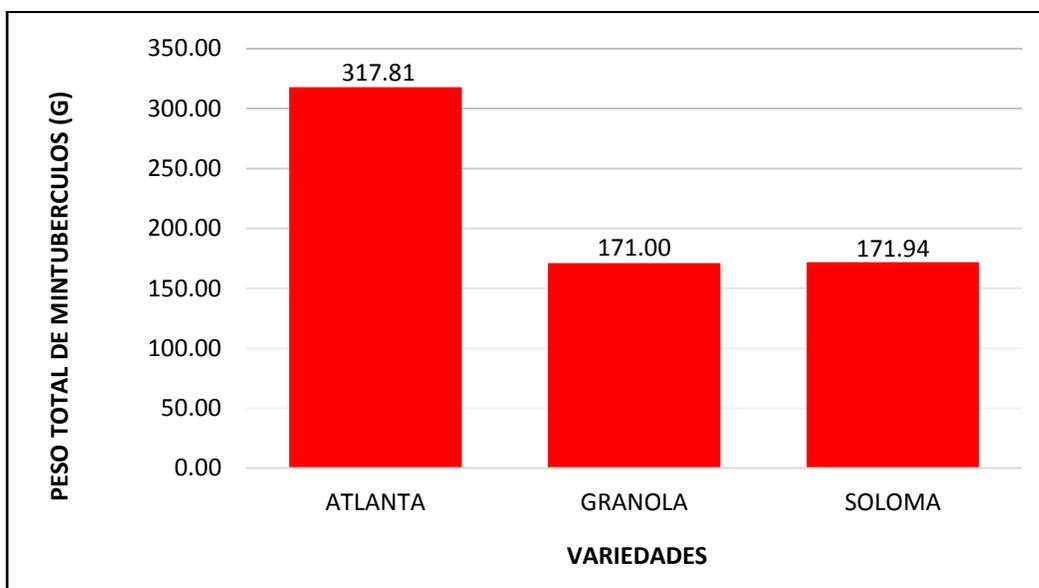


Figura 25. Peso de los minitubérculos en las tres variedades de papa.

El análisis de varianza, con un coeficiente de variación de 30.35%, mostró que el factor variedad presentó diferencias altamente significativas (cuadro 21).

Cuadro 21. Análisis de varianza para la variable peso de los minitubérculos.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F calculada	Valor de probabilidad
Modelo	293551.17	14	20967.94	4.69	0.0001
Bloque	32412.17	3	10804.06	2.42	0.0838
Variedades	228449.63	2	114224.81	25.56	<0.0001
Número de Tallos	4725.83	3	1575.28	0.35	0.7876
Variedades por número de Tallos	27963.54	6	4660.59	1.04	0.4158
Error	147449.83	33	4468.18		
Total	441001.00	47			

La prueba de comparación de medias de Tukey demostró diferencias estadísticas significativas, resultando mejor la variedad Atlanta ($p < 0.05$) (cuadro 22).

Cuadro 22. Prueba de Tukey para el factor variedad.

Variedades	Medias	Número de valores	Error experimental
Atlanta	317.81	16	16.71 A
Soloma	171.94	16	16.71 B
Granola	171.00	16	16.71 B

El número de tubérculos por planta, las tasas de crecimiento del tubérculo y el índice de cosecha (relación del tubérculo con el peso seco total por planta) disminuyen a temperaturas altas, debido a los efectos directos de la temperatura sobre la fotosíntesis, respiración y la tasa de conversión de azúcares a almidones dentro del tubérculo. Además, el calentamiento externo del suelo influye invariablemente en forma negativa en las tasas de crecimiento del tubérculo, antes de la madurez final del cultivo (CIP 1988).

Vásquez (2017) dice que la variedad Soloma alcanzó un rendimiento mayor de 234.65 g con relación a las variedades Granola (144.83 g) y Tollocan (83.38 g).

Allen (1978) menciona que la variedad Atlanta el rendimiento es alto, tiene resistencia a la defoliación tardía, resistencia al nematodo dorado; es inmune al virus X de la papa (PVX) y a necrosis del tubérculo.

4.2.11. Peso de minitubérculos con diferente número de tallos

Según los datos obtenidos, las plantas con tres tallos obtuvo el mayor peso de los minitubérculos con un promedio de 236.17 g, siguiendo las plantas con dos tallos con un promedio de 220.58 g, luego las plantas testigo obtuvieron un promedio de 214.17 g y por último las plantas con cuatro tallos con un promedio de 210.08 g (figura 26).

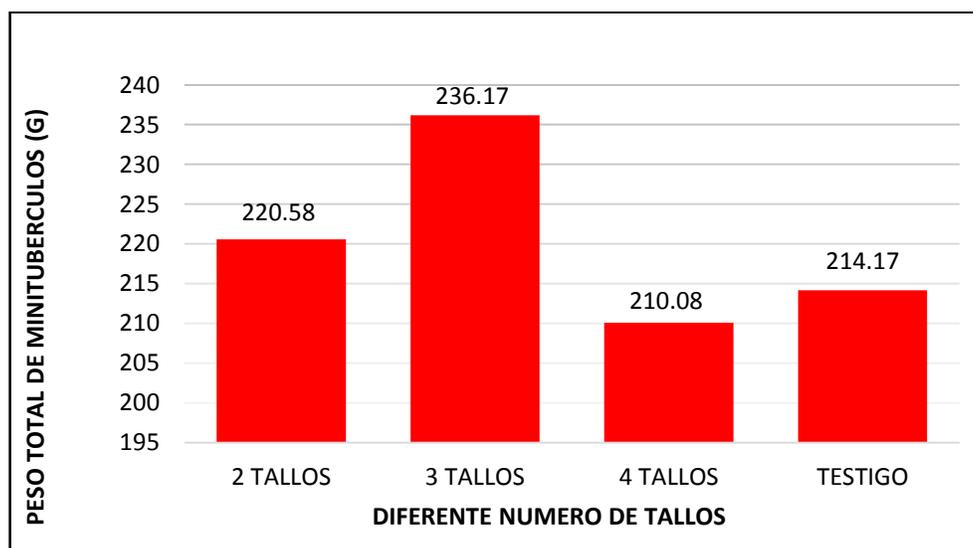


Figura 26. Peso de los minitubérculos para diferentes números de tallos.

Al analizar las medias de comparaciones de Tukey no mostró diferencia estadística significativa ($p < 0.05$) (cuadro A-15).

El rendimiento desde el punto de vista fisiológico es producto de tres distintos procesos: el 1º ocurre después de la siembra, en donde los tallos crecen de las yemas de la semilla-tubérculo; el 2º 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 3º 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 y Tai 1985).

Los tubérculos ideales para semilla tienen un peso entre 40 a 120 g (Montesdeoca 2005).

Los tubérculos-semilla pequeños tienen más ojos por unidad de peso y por ello producen más tallos; sin embargo, los tallos provenientes de tubérculos-semilla más grandes crecen en general más rápido y poseen mayor capacidad de rebrote, lo que es ventajoso si las condiciones al momento de la siembra son adversas (Oyarzún *et al.* 2002).

Calderón (2010) menciona que el mejor número de tallos es el de cuatro tallos por planta, obteniendo un rendimiento de 13,200 kg/ha, factor que es ligeramente superior a tres tallos por planta con un rendimiento de 10,100.87 kg/ha.

4.2.12. Peso de los minitubérculos en la interacción variedad y número de tallos

Según los resultados obtenidos, los mejores pesos de los minitubérculos se obtuvieron en la interacción de la variedad Atlanta y el Testigo (Tratamiento 4) con un promedio de 339 g; seguido por la variedad Atlanta y dos tallos (Tratamiento 1) con 335 g, luego la variedad Atlanta y cuatro tallos (Tratamiento 3) con un promedio de 301.35 g y por último la variedad Atlanta y tres tallos (Tratamiento 2) con 295.48 g. Los pesos más bajos los presentó la interacción de la variedad Soloma y el testigo (Tratamiento 12) con una media de 140.75 g (figura 27).

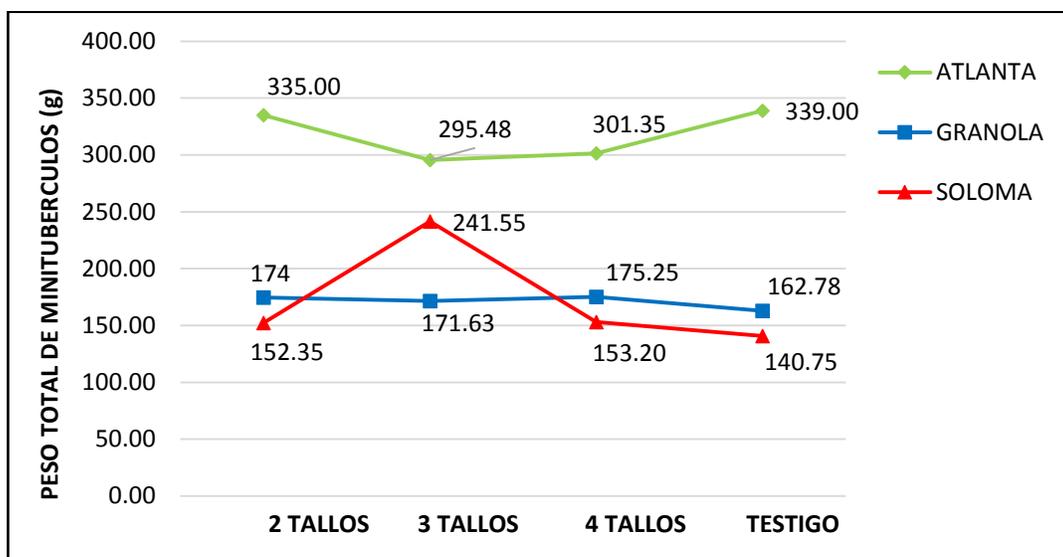


Figura 27. Peso de los minitubérculos en la interacción variedad y número de tallos.

Al analizar las medias de comparaciones de Tukey demostró diferencias altamente significativas ($p < 0.05$) (cuadro 23).

Cuadro 23. Prueba de Tukey en la interacción de variedad con número de tallos.

Varietades	Número de Tallos	Medias	Número de valores	Error experimental
Atlanta	Testigo	339.25	4	33.42 A
Atlanta	2	335.00	4	33.42 A B
Atlanta	4	301.50	4	33.42 A B C
Atlanta	3	295.50	4	33.42 A B C
Soloma	3	241.50	4	33.42 A B C
Granola	4	175.25	4	33.42 A B C
Granola	2	174.50	4	33.42 A B C
Granola	3	171.50	4	33.42 B C
Granola	Testigo	162.75	4	33.42 C
Soloma	4	153.50	4	33.42 C
Soloma	2	152.25	4	33.42 C
Soloma	Testigo	140.50	4	33.42 C

Gómez (2017) realizó una investigación con el cultivar Royal, concluyendo que en la medida que se incrementa el número de tallos, aumenta la cantidad de minitubérculos por planta, pero disminuye el peso promedio por minitubérculos.

4.2.13. Diámetro de los minitubérculos

Según los resultados obtenidos, los mayores diámetros de los minitubérculos se obtuvieron en la variedad Atlanta con una media de 40.59 mm, seguido por la variedad Granola con 26.10 mm y por último la variedad Soloma con una media de 24.35 mm (figura 28).

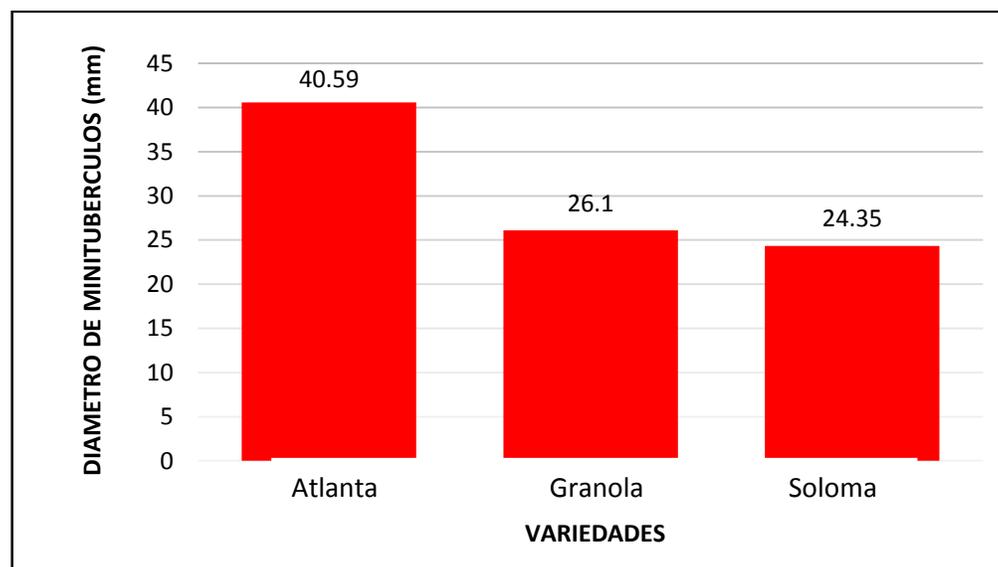


Figura 28. Diámetro de los minitubérculos de tres variedades de papa.

El análisis de varianza, con un coeficiente de variación de 17.23%, mostró que el factor variedad presentó diferencias altamente significativas (cuadro 24).

Cuadro 24. Análisis de varianza para la variable diámetro de minitubérculos.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F calculada	Valor de probabilidad
Modelo	2791.31	14	199.38	7.29	<0.0001
Bloque	78.99	3	26.33	0.96	0.4219
Variedades	2541.32	2	1270.66	46.46	<0.0001
Número de Tallos	77.07	3	25.69	0.94	0.4328
Variedades por número de Tallos	93.92	6	15.65	0.57	0.7494
Error	902.62	33	27.35		
Total	3693.93	47			

La prueba de comparación de medias de Tukey mostró diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) (cuadro 25).

Cuadro 25. Prueba de Tukey para el factor variedades.

Variedades	Medias	Número de valores	Error experimental
Atlanta	40.59	16	1.31 A
Soloma	26.10	16	1.31 B
Granola	24.35	16	1.31 B

Menjivar y Zepeda (2016) utilizando plantas de papa producidas in vitro (Generación 0) y sembradas en macetas, identificaron que la variedad Soloma (3.37 mm) y Tollocan (2.71 mm) mostraron mayor diámetro del minitubérculo.

Favoretto *et al.* (sf) en una investigación sobre diámetro de dos minitubérculos producidos en sistema hidropónico, obtuvieron que para las variedades Soloma y Granola fueron de 15 a 23 mm y Atlanta entre 10 a 15 mm de diámetro.

4.2.14. Diámetro de minitubérculos con diferentes números de tallo

Según los datos obtenidos, las plantas con tres tallos obtuvieron el mayor diámetro de minitubérculos con un promedio de 31.74 mm, siguiéndole las plantas con dos tallos con un promedio de 30.92 mm, luego las plantas testigo con un promedio de 30.43 mm y por último las plantas con cuatro tallos con 28.31 mm (figura 29).

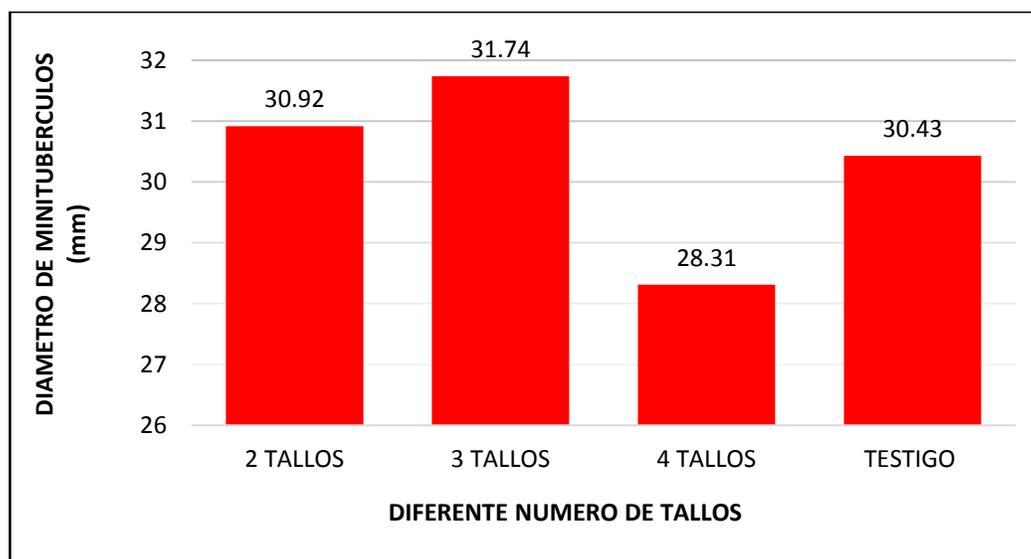


Figura 29. Diámetro de minitubérculos para diferentes números de tallos.

Las medias de comparaciones de Tukey mostró que no existen diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) (cuadro A-17).

4.2.15. Diámetro de los minitubérculos en la interacción variedad y número de tallos

Según los resultados obtenidos, los mayores diámetros se obtuvieron con la interacción de la variedad Atlanta y el Testigo (Tratamiento 4) con un promedio de 43.24 mm, seguido de la variedad Atlanta y tres tallos (Tratamiento 2) con 42.51 mm, luego la variedad Atlanta y dos tallos (Tratamiento 1) con un promedio de 40.86 mm y por último la variedad Atlanta y cuatro tallos (Tratamiento 3) con 35.75 mm (figura 30).

Esto es debido a que el número de minituberculos por tallo fue menor en comparación de las otras variedades, pero en cuanto al tamaño resulto ser mayor.

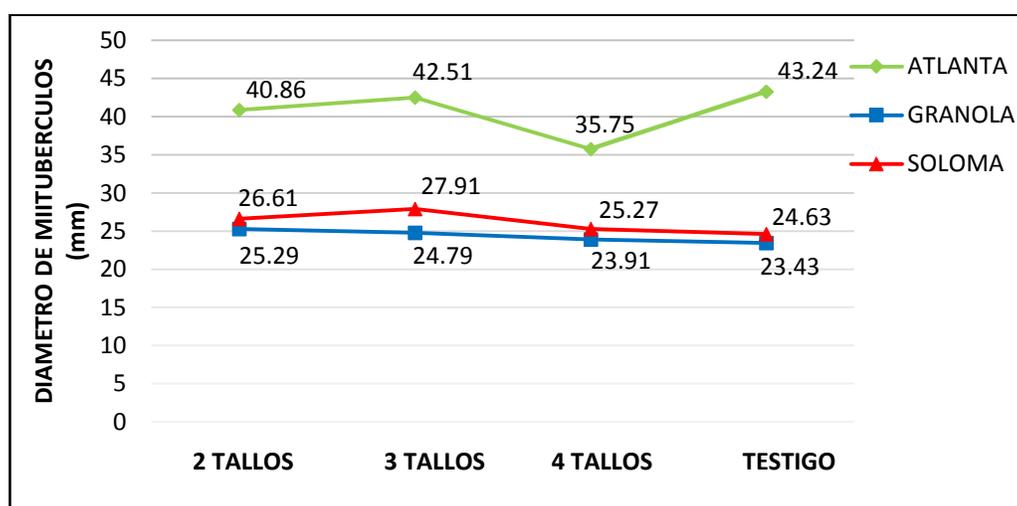


Figura 30. Diámetro de los mini tubérculos en la interacción variedad y número de tallos.

Al comparar las medias de Tukey el análisis mostró diferencias altamente significativas ($p < 0.05$) (cuadro 26).

Cuadro 26. Prueba de Tukey en la interacción variedad y número de tallos.

Variedades	Número de Tallos	Medias	Número de valores	Error experimental	
Atlanta	Testigo	43.24	4	2.61	A
Atlanta	3	42.51	4	2.61	A
Atlanta	2	40.86	4	2.61	A B
Atlanta	4	35.75	4	2.61	A B C
Soloma	3	27.91	4	2.61	B C
Soloma	2	26.61	4	2.61	C
Granola	2	25.29	4	2.61	C
Soloma	4	25.27	4	2.61	C
Granola	3	24.79	4	2.61	C
Soloma	Testigo	24.63	4	2.61	C

Granola	4	23.91	4	2.61	C
Granola	Testigo	23.43	4	2.61	C

Normalmente los calibres del tubérculo semilla certificada comprenden entre 28 a 65 mm en variedades normales y entre 25 y 60 mm en variedades en que la longitud es más del doble de su ancho (Alonso 1996).

4.3. Clasificación de los minitubérculos en categorías

4.3.1. Número de minitubérculos de cada categoría

Según los resultados obtenidos, el mayor número de minitubérculos se obtuvo en la primera categoría en las tres variedades de papa (Atlanta 87, Soloma 82 y Granola 69 minitubérculos). La menor cantidad de minitubérculos la obtuvo en la segunda categoría en las tres variedades de papa (Atlanta 4, Soloma 14 y Granola 26 minitubérculos) (figura 31).

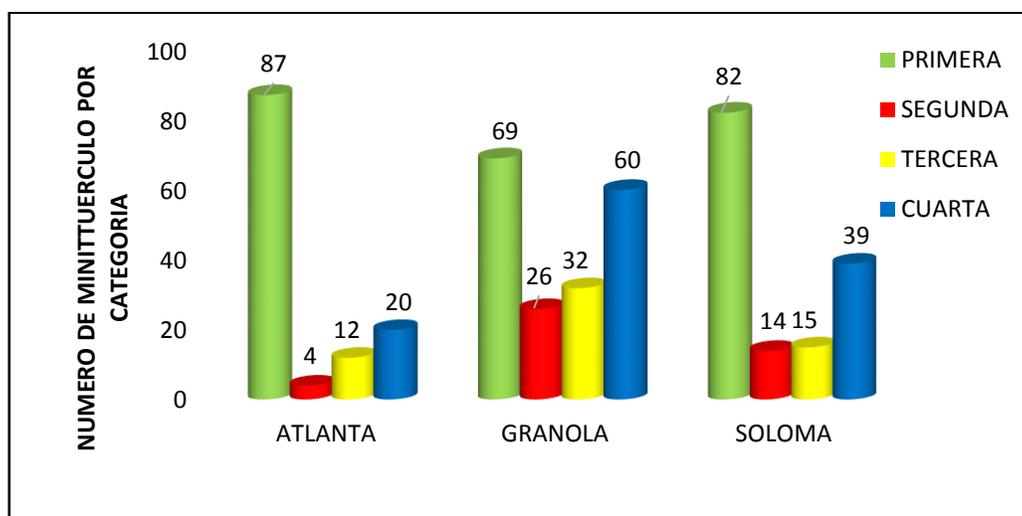


Figura 31. Número de minitubérculos por categoría.

Pérez (2016) obtuvo en la variedad Soloma 401 minitubérculos en la categoría grande y 857 en la categoría mediana; en la variedad Tollocan obtuvo 60 minitubérculos en la categoría grande y 745 en la categoría mediana.

*Pérez, MA. 2016. Proyecto KOICA. Desarrollo de las capacidades técnicas para la producción de semilla de papa libre de virus y el mejoramiento del sistema de extensión para los productores en El Salvador. (Entrevista), Universidad de El Salvador, San Salvador, SV.

Según Vázquez (2017), la variedad Soloma presenta mejores características de producción que la variedad Granola.

4.3.2. Porcentaje de cada categoría de los minitubérculos de papa

Los mayores porcentajes los obtuvo la primera categoría en las tres variedades de papa (Atlanta 70.73, Granola 36.9 y Soloma 54.67 %). El menor porcentaje lo obtuvo la segunda categoría en las tres variedades de papa (Atlanta 3.25, Granola 13.9 y Soloma 9.3 %) (figura 32).

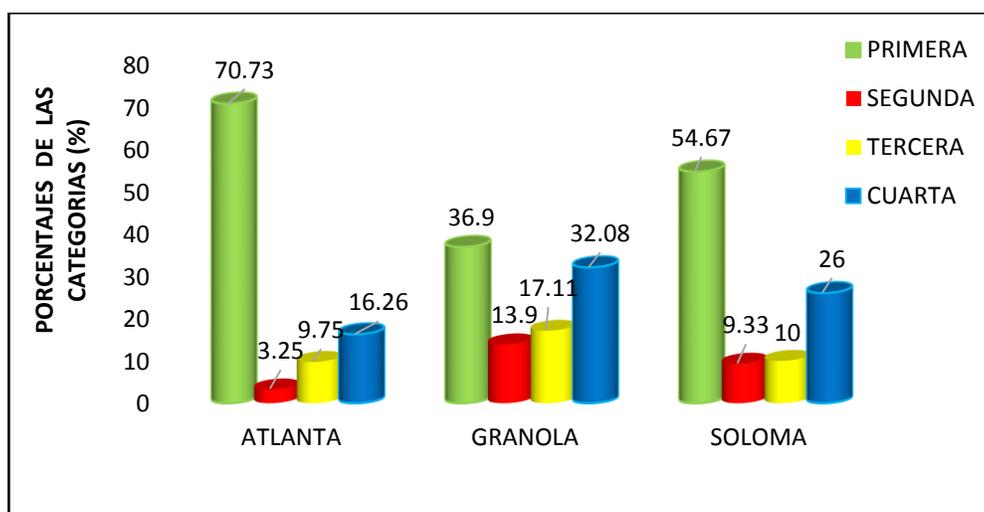


Figura 32. Porcentaje obtenido en cada categoría de los minitubérculos de papa.

Según Vander Zaag (1987), a partir de la semilla básica se requieren cinco años o cinco ciclos agrícolas para producir tubérculo semilla certificada para usarse en la producción comercial de papa.

4.3.3. Peso de los minitubérculos de papa por categoría

Según los datos obtenidos, el mayor peso de los minitubérculos para las tres variedades de papa se obtuvo con la Primera categoría, en la variedad Atlanta con un peso de 305.96 g, Granola con 247.07 g y la variedad Soloma con 158.38 g. El menor peso de los minitubérculos se obtuvo en la Cuarta categoría en las tres variedades de papa (Atlanta 2.26 g, Soloma 7.19 g y Granola 19.29 g) (figura 33).

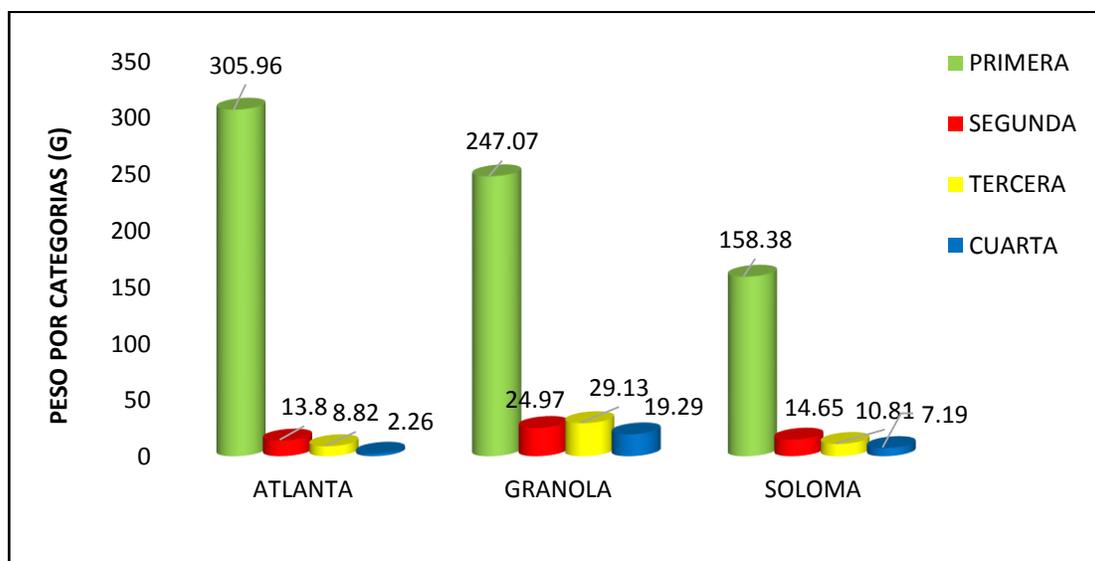


Figura 33. Peso de los minitubérculos de papa por categorías.

4.4. Número de minitubérculos de papa en un área de 1 m²

Los resultados en esta investigación demuestran que la variedad Soloma con cuatro tallos produjo el mayor número de minitubérculos de papa en un metro cuadrado (760), seguido por la variedad Granola con dos tallos (760) y por último la variedad Atlanta con cuatro tallos (320) (figura 34).

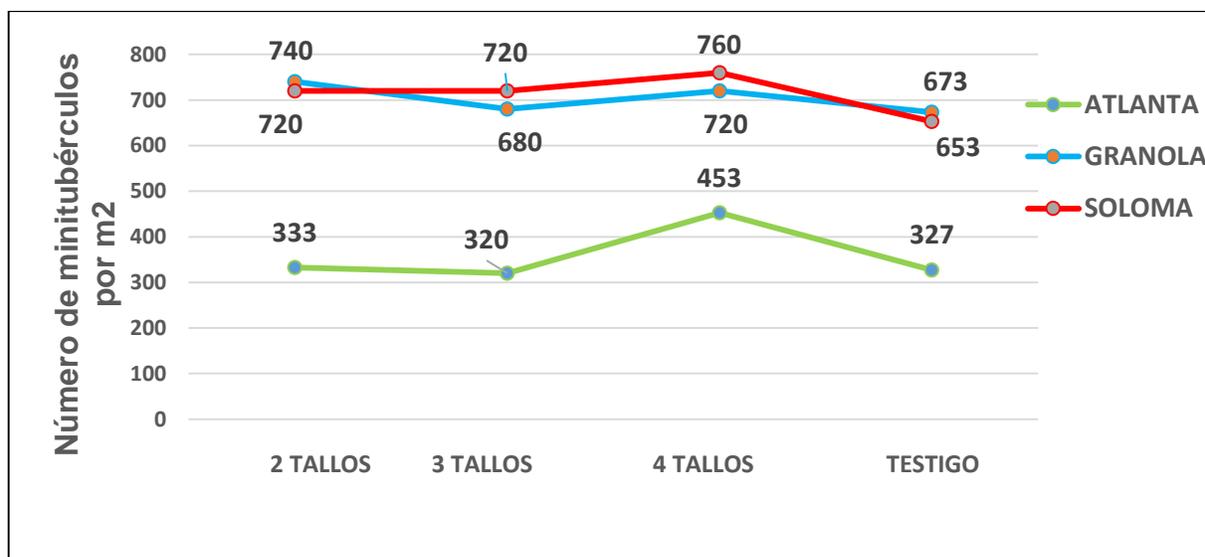


Figura 34. Número de minitubérculos de papa en un área de un m².

En una investigación realizada por CIP (2015), evaluaron cinco variedades de papa y el promedio obtenido por m² fue en la variedad Fripapa 997 minitubérculos, variedad Puca Shungo 940 mini tubérculos, variedad Victoria 3,105 mini tubérculos y en la variedad Yana Shungo 1,023 mini tubérculos.

4.5. Rendimiento de minitubérculos de papa en kg/m²

Los resultados obtenidos muestran que el mayor rendimiento se obtuvo con la variedad Atlanta con tres tallos en 3.87 kg/m², dos tallos en 3.77 kg/m² y el Testigo en 3.45 kg/m²; seguido por la variedad Soloma con tres tallos en 3.21 kg/m² y por último la variedad Granola con tres tallos en 3.04 kg/m² (figura 35).

El rendimiento de papa en el trópico se ve favorecido por las condiciones de clima en regiones de mayor altura, donde la temperatura es relativamente fresca de 15° a 20° C para su tuberización y crecimiento; sin embargo, las temperaturas que se presentaron en la investigación fueron mayores de 30° C.

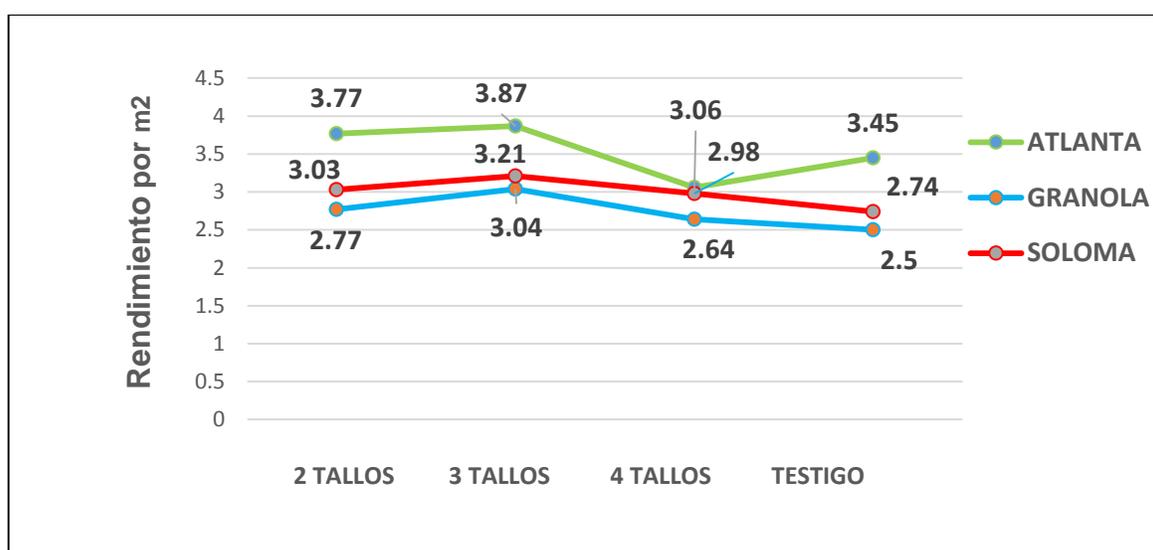


Figura 35. Rendimiento de minitubérculos de papa en kg/m².

Gómez (2017) concluyó que en la medida que se incrementa el número de tallos, aumenta la cantidad de mini tubérculos por planta, pero disminuye el peso promedio por minitubérculos.

Después de la tierra, el clima y las personas, el factor de mayor importancia para la producción agropecuaria lo constituyen las semillas de las diferentes especies vegetales ya que, la semilla es el medio por el cual se lleva al agricultor todo el potencial genético de un cultivar con características superiores, para ello una semilla realmente que tenga un impacto en la agricultura es necesario que, además de ser de alta calidad, libre de plagas y de una variedad mejorada, sea usada largamente por los agricultores, ya que de esta manera se aumentará la producción (Carrera 2001).

Torres (2012) menciona que una planta de papa sana (libre de plagas y enfermedades) con todo su potencial genético y llevando a cabo todas sus funciones fisiológicas va a desarrollarse, para ello es necesario que la planta de papa incluya una rápida emergencia de los brotes, desarrollo de estolones, raíces y sistema aéreo de la planta, eficiencia en el uso de nutrientes y agua, tasa óptima de fotosíntesis, uniformidad en el crecimiento y desarrollo del tubérculo.

El CIP (2015) menciona que la producción obtenida depende de tres factores: la variedad, las condiciones climáticas y del manejo agronómico.

5. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, objetivos e hipótesis planteadas y a las condiciones bajo las cuales se desarrolló la investigación se concluyó que:

La interacción de la variedad Soloma con cuatro tallos presento los mejores resultados de número de minitubérculos con 28.5.

La variedad Granola obtuvo tres minitubérculos en relación a dos y cuatro tallos, seguido por la variedad Soloma con dos minitubérculos con relación a tres tallos.

Los mejores pesos de los minitubérculos se obtuvieron en la interacción de la variedad Atlanta y el Testigo con un promedio de 339 g.

La producción por m² de la variedad Soloma (Generación tres) fue de 760 minitubérculos, seguido por la variedad Granola con 740 minitubérculos.

El rendimiento por m² de la variedad Atlanta (Generación tres) fue de 3.87 kg/m².

La primera categoría con la variedad Atlanta expreso un 70.73% del total, con 87 minitubérculos, seguido por la variedad Soloma con un 54.67% con 82 minitubérculos.

6. RECOMENDACIONES

Cultivar la variedad Atlanta, con Testigo, para obtener mayor cantidad de biomasa (tallos y hojas).

Para obtener mayor número de minitubérculos de papa por unidad de área se debe cultivar la variedad Soloma con cuatro tallos.

Dejar dos o cuatro tallos por cada minitubérculo para obtener mayor producción de minitubérculos.

Para obtener minitubérculos de papa de primera categoría con pesos mayores a 15.10 g se recomienda utilizar la variedad Atlanta.

Utilizar la variedad de papa Atlanta con tres tallos para obtener mayores rendimientos en kg/m².

Realizar investigaciones con otros materiales genéticos de papa y bajo otras condiciones ambientales.

7. BIBLIOGRAFIA

Aldabe, L; Dogliotti, A. 2001. El cultivo de papa. Universidad de la República, Uruguay. 86 p.

Alfredo, S. 2013. Producción Hortícola baja cubierta. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. 150 p.

Allen, E.1978. The potato crop. The scientific basis for improvement. 2ed. Harris and Hall, Londres, Inglaterra. 4 p.

Alonso, F. 1996. El Cultivo de la Patata. Madrid España: Ediciones Mundi-prensa. p. 61-67

Argüelles, J; Carvajal, G. 2013. Estadística y diseño de experimentos Aplicaciones prácticas para diseño de experimentos en sistemas agropecuarios tropicales. 1 ed. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).Bogotá. .Colombia. 81, 83 p.

Arias, D. 2009. Producción de semilla pre básica en el sistema aeropónico en el Ecuador. Tesis Ing. Agr. Quito, Universidad Central del Ecuador. 125 p.

Baixauli, C; Aguilar, J. 2002. Cultivo sin suelo de Hortalizas, Aspectos prácticos y Experiencias. Generalitat valenciana, valencia. 110 p.

Biblioteca Técnica de Cultivos y Almacigos. s.f. El cultivo de la papa (en línea). Consultado 17 oct. 2017. Disponible en <http://allmacigos.cl/bt/EL%20CULTIVO%20DE%20LA%20PAPA.pdf>

Bonner, J; Galston, A. 1981. Principios de fisiología vegetal. Madrid: Ed. Aguilar. 123-126, 157-159 p.

Calderón, F; Cevallos, F. 2002. Los sustratos. Consultado 2 abr. 2019 (en línea) Disponible en http://www.drcalderonlabs.com/Publicaciones/Los_Sustratos.htm.pdf

Calderón, P. 2010. Evaluación de la distancia entre minitubérculos y número de tallos por planta en la productividad de semilla de papa (*Solanum tuberosum* L.), cultivar Friepapa, bajo invernadero. Tesis Ing. Agr. Riobamba, Ecuador. 11-15, 50-51 p.

- Campbell, A. 2001. Mitología. Conceptos y relaciones. Quito-Ecuador. 660 p.
- Carrera, J. 2001. Producción de tubérculo-semillas de papa en la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP y su relación con el sector semillero nacional. Quito-Ecuador. 122 p.
- CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, El Salvador). 2002. Guía Técnica Cultivo de la Papa, (en línea). Consultado 8 agos 2020. Disponible en <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/hortalizas/Guia%20Papa.pdf>
- CIP (Centro Internacional de la Papa, Perú). 1988. Fisiología de la planta de papa bajo condiciones de clima cálido. Lima, Perú. 3-11 p.
- CIP (Centro Internacional de la Papa, Ecuador). 2015. Manual para la producción de semilla de papa usando Aeroponía (en línea). Consultado. 31 may. 2019. Disponible en <https://es.scribd.com.pdf>
- Czajkowski, J. 2006. Luminotecnia e iluminación artificial. Instalaciones (en línea). Consultado 25 mar. 2020. Disponible en <https://researchgate.net.pdf>
- Dimitri; Milán, J. 1987. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Descriptores de planta cultivadas (en línea). Consultado. 1 abr. 2019. Disponible en [https://www.biblio.uade.edu.ar/client/es_ES/biblioteca/search/detailnonmodal/ent:\\$002f\\$002fSD_ILS\\$002f0\\$002fSD_ILS:243589/ada?qu=JARDINERIA&ic=true&telLS.pdf](https://www.biblio.uade.edu.ar/client/es_ES/biblioteca/search/detailnonmodal/ent:$002f$002fSD_ILS$002f0$002fSD_ILS:243589/ada?qu=JARDINERIA&ic=true&telLS.pdf)
- Dwelle, R. 2003. Potato Growth and Development, *in*: Potato Production Systems. 9, 19 p.
- Echarri L. 2010. Libro electrónico. Ciencias de la tierra y del medio ambiente. Chile. 56p.
- Ellisseche, D. 2002. La patata. Tecnología de las hortalizas. Editorial Acribia, Zaragoza-España. 67, 93 p.
- Expansión Datos macro.com. s.f (en línea). Consultado el 8 mar. 2019. Disponible en <https://datosmacro.expansion.com/paises/el-salvador.pdf>

Faiguenbaum, M; Zunino, P. 1998. Biología de los cultivos anuales, Papa. Sistema radicular (en línea). Consultado. 28 mar. 2019. Disponible en <http://www.esacademic.com.pdf>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Honduras). 2003. Hidroponía simplificada (en línea). Consultado. 6 mar. 2019. Disponible en <http://www.fao.org/pdf>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, México). 2009. Cultivo de papa (en línea). Consultado 2 mar. 2019. Disponible en <http://www.fao.org/pdf>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para Alimentación y la Agricultura Alimentación, Perú). 2010. Material micropropagativo y minitubérculos de papa (*Solanum spp.*) libres de plagas para el comercio internacional. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/67259066/Material-micropropagativo-y-minituberculos-de-papa-Solanum-spp-libres-de-plagas-para-el-comercio-internacional/pdf>

FAOSTAD (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Software estadístico, El Salvador). 2018. (en línea). Consultado 8 mar. 2019. Disponible en <http://www.fao.org/faostat/es/#data.pdf>

Fariña, J. 2009. Manual de papa para la Araucania manejo y plantación. Chile: Imprenta Fénix. Consultado 10 agos. 2020. Disponible en <https://es.scribd.com/doc/245132040/4.pdf>

Favoretto, P; Tavares de Melos, P; Gómez, E; Rytsi, P. s.f. Diámetro dos mini tubérculos de batata-semente cv. Atlantic producidos en sistema hidropónico (en línea). Consultado el 27 de may. 2016. Disponible en: http://www.abhorticultura.com.br/biblioteca/arquivos/Download/Biblioteca/46_0233.pdf

Fries, A. 2007. Tubérculos andinos: La papa (en línea). Consultado: 17 mar. 2019. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/010/ai185s/ai185s04.pdf>

Galán, J. 1987. Sistema de unidades físicas. Universidad de Murcia, Ciencias. Vol. XVII. 1-2 p.

Gámez, Y. 2017. Efecto del número de tallos en el crecimiento y rendimiento de la papa

(*Solanum tuberosum* L.) cultivar Royal (en línea). Tesis Ing. Agr. Cuba, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Consultado 10 mar. 2019. disponible en <http://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/7985/yenisey%20g%c3%a1mez%20b%20orr%c3%a1s.pdf>

Grepe, P. 2001. Cultivo de la Papa (en línea). Consultado 27 mar. 2019. Disponible en <http://catalogornbp.bibliotecanacional.gov.co/.pdf>

Gudiel, V. 1987. Manual Agrícola Súper B. 6 ed. Guatemala, Productos Súper b. 267, 268 p.

Guzmán, G. 2004. Hidroponía en casa. Una actividad familiar. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Sistema Unificado de Información institucional. Costa Rica. Consultado 29 abr. 2019. Disponible en http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1/.pdf

Hannapel, D; Chen, H; Rosin, F; Banerjee, K; Davies, J. 2004. Molecular controls of tuberization. American Journal of Potato Research. Estados Unidos de Norteamérica. 363, 274 p.

INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Uruguay). 2007. Hidroponía. Montevideo, Uruguay. Consultado 9 ag. 2020. Disponible en <http://www.inia.org.uy>

Kadaja, J; Tooming, H. 2004. Potato production model based on principle of maximum plant productivity. Agric. For Meteorol. Estados Unidos de Norteamérica. 17, 33 p.

López García, J; Fernández Velázquez, A. 2012. Cultivo de la papa (en línea) Argentina. Consultado 15 mar. 2019. Disponible en <http://cipotato.org/es/es/lapapa/como-crecen-las-papas/#sthas.xdcrP3Pr.dpuf/.pdf>

Lynch, D; Tai, G. 1985. Yield and yield component response of eight potato genotypes to water stress. Crop Sci. Estados Unidos de Norteamérica. 1207-1211 p.

MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, El Salvador). 2018. Anuarios de Estadísticas Agropecuarias 2017-2018. Santa Tecla, El Salvador. Consultado 27 ene. 2021. Disponible en <http://www.mag.gob.sv/direccion-general-de-economia-agropecuaria/estadisticas-agropecuarias/anuarios-de-estadisticas-agropecuarias/.pdf>

MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador). 2015. Boletín climatológico, Anual 2015. El Salvador. 16 p.

Martínez de la Cerda, J; Gutiérrez, A; Molina, M; García, E. s.f. Riego en Hortalizas (en línea) México. Consultado 20 mar. 2019. Disponible en http://www.infoagro.com/hortalizas/riego_hortícolas.htm/.pdf

Menjivar, WA; Zepeda. MA. 2016. Evaluación de tres variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) Multiplicadas In vitro en dos volúmenes de sustrato para la producción de mini tubérculos bajo invernadero (en línea). San Salvador, El Salvador. Consultado 23 mar. 2019. Disponible en <http://ri.ues.edu.sv/11870/1/13101617.pdf>

MIDA (Ministerio de Desarrollo Agropecuario de Panamá). 1987. Producción de Papa (en línea). Panamá. Consultado: 27 mar. 2019. Disponible en: https://www.mida.gob.pa/direcciones/direcciones_nacionales/direcci-n-de_agricultura/costos-de-producci-n.html/.pdf

Milton, P; Allen, S. 1995. Breeding Field Crops. Iowa State University Press, Ames, Iowa, USA. 494 p.

Montesdeoca, F. 2005. Guía para la producción, comercialización y uso de semilla de papa de Calidad (en línea) Quito. PNRT-INIAP- Proyecto FORTIPAPA. Consultado: 11 agos. 2020. Disponible en https://nfxms1019hx1xmtstxk3k9sko-wpengine.netdna-ssl.com/wpcontent/uploads/Documentacion%20PDF/Guia_produccion_uso_semilla.pdf

Mora, L. 2012. Sustratos para cultivos sin suelo o hidroponía. INDAGRO, San José, Costa Rica. Consultado 2 mayo. 2019. Disponible en http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_xi/a50-6907-III_095.pdf

Muñoz, A. 2010. Cultivo de papa. *Solanum tuberosum* L. (en línea). Ecuador. Consultado 5 feb. 2019. Disponible en http://www.agrytec.com/agricola/index.php?option=com_content&view=article&id=281:cultivo-de-papa-solanum-tuberosum&catid=43:articulos-tecnicos&Itemid=46/pdf

- Muñoz, W. 2016. Texto básico para profesionales en ingeniería forestal, en el área fisiología general. Iquitos, Perú. 178 p.
- Oyarzún, P; Chamorro, F; Córdova, J; Merino, F; Valverde, F; Velázquez, J. 2002. Manejo Agronómico. In: El cultivo de la papa en Ecuador (en línea). Consultado 11 ag. 2020 Disponible en <https://nqxms1019hx1xmtstxk3k9sko-wpengine.netdna-ssl.com/wpcontent/uploads/Documentacion%20PDF/Pumisacho%20y%20Sherwood%20Cultivo%20de%20Papa%20en%20Ecuador.pdf>
- Paredes, M; Calvache, M; Montesdeoca F; Benítez, J. 2001. Estudio de producción de tubérculo-semilla categoría prebásica de dos variedades de papa bajo diferentes sistemas de manejo. Universidad Central de Ecuador. Ecuador. 12 p.
- Parsons, DB. 1984. Papas. Manuales para educación agropecuaria. México. Editorial Trillas. 54 p.
- Pérez, E. 2009. Fotosíntesis: Aspectos Básicos. Obtenido de Fotosíntesis: Aspectos Básicos. Consultado 10 ag. 2020. Disponible en http://eprints.ucm.es/9233/1/Fisiologia_Vegetal_Aspectos_basicos.pdf
- Pérez, MA. 2018. Principios básicos de olericultura. 1 ed. San Salvador, El Salvador. 33, 98-102 p.
- Portillo, MA. 2010. Manual de agricultura Protegida Los Cinco Pilares. Proyecto de Desarrollo Productivo; Servicios de Producción y Negocios, FOMILENIO. El Salvador. 40 p.
- Pumisacho, M. 2002. El cultivo de papa en el Ecuador. INIAP. Ecuador. 36, 76 – 80 p.
- Plaisted, R. 1982. La papa. La hibridación de plantas del cultivo. La Sociedad Americana de Agronomía, del Cultivo de Ciencia de América. Nueva York, Estados Unidos de Norteamérica. 95 p.
- Quezada J. 2008. Respuesta de cultivo de tomate en sustrato de lana de roca a la oxigenación de la solución nutritiva. Proyecto Fin de Carrera. Universidad de Almería. España. 10 p.

- Richford N. 2010. Plant Growth Factors (en línea). Consultado 18 mar. 2020. Disponible en <https://doi.org.pdf>
- Ross, HA; Davies, HV. 1992. Sucrose metabolism in tubers of potato (*Solanum tuberosum* L.). Plant Physiology. Estados Unidos de Norteamérica. 287-293 p.
- Salisbury, F; Ross, C. 1994. Fisiología vegetal. México: Editora Iberoamérica. 759 p.
- Sierra, C; Rojas, J; Kalazich, J. 2002. Manual de fertilización del cultivo de la papa en la zona sur de Chile. Instituto de investigaciones agropecuarias (INIAP). Santiago, Chile. 105 p.
- Stark, J; Love, L. 2003. Idaho Center of Potato Research and Education. Tuber Quality. Estados Unidos de Norteamérica. 329, 343 p.
- Struik, C; Wiersema, G. 1999. Seed Potato Technology. Ed. Wageningen Pers, Wageningen. México. 45 p.
- Torres, M. 2012. La fisiología de la absorción y conducción de agua minerales a través del xilema en plantas vasculares (en línea). Bogotá, Colombia. Consultado 10 ag. 2020. Disponible en <https://www.cnpp.%756893.pdf>
- USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos). 2003. La Guía pirámide de alimento (en línea). Estados Unidos. Consultado 10 mar. 2019. Disponible en https://www.cnpp.usda.gov/sites/default/files/archived_projects/FGPPamphleSpanish.pdf
- Valverde, J. 1998. Fertilización del cultivo de papa. INIAP. Quito, Ecuador. Consultado 31 mar. 2019. Disponible en <http://www.iniap.gob.ec/pruebav3/.pdf>
- Vander Zaag, DE. 1987. La papa de siembra: fuente de suministro y forma de utilizarla (en línea). Consultado 1 de abr. 2019. Disponible en <https://books.google.com.sv/books/.pdf>
- Vásquez, W. 2017. Evaluación de tres variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.), tres densidades de siembra y dos sustratos para producción de semilla prebásica (en línea). San Salvador, El Salvador. Consultado 23 mar. 2020. Disponible en <http://ri.ues.edu.sv/11870/1/13101667..pdf>

Wiersema, G. 1981. Efecto de la densidad del tallo en producción de papa boletín de información técnico 1, Centro Internacional de la Papa, Lima, Perú. Consultado 26 mar. 2019. Disponible en <https://cipotato.org/es/.pdf>

Whitting, D; Roll, M; Vickerman, L; Johnson, S. 2009. Plant Growth Factors (en línea). Consultado 25 mar. 2020. Disponible en <https://researchgate.net.pdf>

8. ANEXOS

Cuadro A-1. Características físicas y químicas de la roca volcánica.

Características físicas	Valores	Características químicas	Valores
Porosidad total (% vol.)	50-60	pH	8.4
Densidad aparente (g/cm ³)	0.7-0.8	Nitrógeno Nítrico	35 ppm
Agua fácilmente asimilable (%)	4-5	Fósforo	104.45 ppm
Agua de reserva (%)	Menor a 2.0	Potasio	38.75 ppm
Agua difícilmente disponible (%)	5-7	Calcio	602.5 ppm
Capacidad de retención de agua (%)	10-15	Magnesio	70.0 ppm
Porosidad ocluida (%)	8-13	Hierro	31.5 ppm
Capacidad de aireación (%)	30-40	Manganeso	23.75 ppm
		Zinc	2.18 ppm
		Cobre	1.0 ppm
		Boro	0.41ppm
		Sodio	60 ppm
		Azufre	6.0ppm

Fuente: Mora (2012).

Cuadro A-2. Características físicas y químicas de la fibra de coco.

Características físicas	Valores	Características químicas	Valores
Índice de grosor (%)	34	Ph	5.6-6.9
Densidad aparente (g/cm ³)	0.059	Conductividad	0.06-2.9 mili simens
Espacio poroso total (% vol.)	96.1	Nitrógeno.	17 ppm
Capacidad de aireación (% vol.)	44.9	Fósforo	15 ppm
Agua fácilmente disponible (% vol.)	19.9	Potasio	253 ppm

Agua de reserva (% vol.)	3.5	Calcio	70 ppm
Capacidad de retención de agua. (ml/sustrato)	523	Magnesio	460 ppm
		Hierro	25 ppm
		Manganeso	1.1ppm
		Zinc	0.7 ppm
		Cobre	0.4 ppm
		Boro	0.1 ppm
		Cloro	26-1000ppm
		Aluminio	1.0 ppm
		Lignina (%)	60-70
		CIC (meq/100g)	39-130

Fuente: Mora (2012).

Cuadro A-3. Agroquímicos utilizados para la prevención y control de plagas y enfermedades que se presentaron en el cultivo de papa.

Tipo de plaga o enfermedad	Ubicación	Nombre científico	Producto	Dosis y aplicación
Ácaros	Follaje	Polyphazotarsonemus latus	Acaricida, insecticida-Tetranic Acid spiro	3ml/L, preventiva cada 8 a 15 días
Mal talluelo	del Tallo	<i>Fusarium spp</i>	Fungicida- Benzimidazol carbendazim Fungicida- Cianoacetamida, Ditiocarbamato cymoxanil,mancozeb	3ml/L, preventiva cada 8 a 15 días
Deficiencias nutricionales	Follaje	-	Poliquel MULTI	3ml/L cada 8 días

Fuente: Elaboración propia (2020).

Cuadro A-4. Promedios de datos registrados de temperaturas y humedad relativa del invernadero.

Mes	Días	Temperaturas °C	Humedad Relativa %
Octubre	28	34	40
Octubre	31	30	46
Septiembre	4	29	46
Septiembre	6	29	44
Septiembre	11	30	44
Septiembre	13	29	43
Septiembre	18	29	36
Septiembre	20	29	40
Septiembre	25	29	40
Septiembre	27	32	36
Diciembre	4	31	34
Diciembre	5	29	36
Diciembre	9	29	34
Diciembre	13	29	36
Diciembre	19	30	43
Diciembre	20	26	48
Diciembre	26	27	43
Diciembre	27	28	34
Enero	2	28	48
Enero	3	29	36
Enero	6	27	38
Enero	10	27	46
Enero	13	28	39
Enero	17	28	37
Enero	20	26	47
Enero	24	28	36
Enero	28	29	47

Fuente: Elaboración propia (2020).

Cuadro A-5. Estructura análisis de varianza.

Fuentes de Variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculada
Bloque	r-1	$\sum_{k=1}^r \frac{Y_{..r}^2}{ab} - FC$	SC _r /GL _r	CM _r /CM _{error}
Tratamiento	t-1	$\sum_{i=1}^t \frac{Y_{i.}^2}{r} - FC$	SC _t /GL _t	CM _t /CM _{error}
Factor A	a-1	$\sum_{i=1}^a \frac{Y_{i.}^2}{br} - FC$	SC _a /GL _a	CM _a /CM _{error}
Factor B	b-1	$\sum_{j=1}^b \frac{Y_{.j.}^2}{ar} - FC$	SC _b /GL _b	CM _b /CM _{error}
Factor A*B	(a-1)(b-1)	$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \frac{Y_{ij.}^2}{r} - \sum_{i=1}^a \frac{Y_{i.}^2}{br} - \sum_{j=1}^b \frac{Y_{.j.}^2}{ar} + FC$	SC _{a,b} /GL _{a,b}	CM _r /CM _{error}
Error	Ab(r-1)+(g-1)	SC _t - SC _a - SC _b - SC _{a,b}	SC _{error} /GL _{error}	
Total	((ab+g)r)-1	$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^r Y_{ijk}^2 + \sum_{d=1}^g \sum_{k=1}^r Y_{dk}^2 - \frac{(Y_{...} + Y_{..})^2}{abr + gr}$		

Fuente: Argüelles y Carvajal (2013).

Cuadro A-6. Prueba de Tukey para el número de tallos.

Número de Tallos	Medias	Número de valores	Error experimental
Dos tallos	5.21	12	0.14 A
Tres tallos	5.33	12	0.14 A
Cuatro tallos	5.35	12	0.14 A
Testigo	5.37	12	0.14 A

Cuadro A-7. Prueba de Tukey para las tres variedades de papa.

Variedades	Medias	Número de valores	Error experimental
Soloma	11.50	16	0.48 A
Granola	11.63	16	0.48 A
Atlanta	15.94	16	0.48 A

Cuadro A-8. Prueba de Tukey para el número de hojas con diferentes números de tallo.

Número de Tallos	Medias	Número de valores	Error experimental
Cuatro tallos	12.83	12	0.55 A
Tres tallos	12.92	12	0.55 A
Testigo	13.08	12	0.55 A
Dos tallos	13.25	12	0.55 A

Cuadro A-9. Prueba de Tukey para número de hojas en la interacción variedades de papa y número de tallos.

Variedad	Número de tallos	Medias	Número de valores	Error experimental
Soloma	Testigo	11.00	4	0.96 A
Soloma	2	11.25	4	0.96 A
Granola	Testigo	11.50	4	0.96 A
Granola	4	11.50	4	0.96 A
Granola	3	11.50	4	0.96 A
Soloma	4	11.75	4	0.96 A B
Soloma	3	12.00	4	0.96 A B C
Granola	2	12.00	4	0.96 A B C
Atlanta	3	15.25	4	0.96 A B C
Atlanta	4	15.25	4	0.96 A B C
Atlanta	2	16.50	4	0.96 B C
Atlanta	Testigo	16.75	4	0.96 C

Cuadro A-10. Prueba de Tukey para el factor altura de la planta con diferentes números de tallo.

Número de tallos	Medias	Número de valores	Error experimental
Cuatro tallos	39.96	12	1.24 A
Testigo	40.73	12	1.24 A
Tres tallos	40.77	12	1.24 A
Dos tallos	41.36		1.24 A

Cuadro A-11. Prueba de Tukey para el factor número de tallos.

Número de Tallos	Medias	Número de valores	Error experimental
Cuatro tallos	24.17	12	1.17 A
Dos tallos	22.42	12	1.17 A
Tres tallos	21.50	12	1.17 A
Testigo	20.67	12	1.17 A

Cuadro A-12. Prueba de Tukey para el factor número de tallos.

Número de Tallos	Medias	Número de valores	Error experimental
Cuatro tallos	4.33	12	0.22 A
Tres tallos	3.83	12	0.22 A
Dos tallos	3.83	12	0.22 A
Testigo	3.75	12	0.22 A

Cuadro A-13. Análisis de varianza para la variable número de minitubérculos por tallo.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F calculada	Valor de probabilidad
Modelo	17.67	14	1.26	3.07	0.0040
Bloque	2.42	3	0.81	1.96	0.1396
Variedades	2.38	2	1.19	2.88	0.0700
Número de Tallos	9.08	3	3.03	7.36	0.0007
Variedades por número de Tallos	3.79	6	0.63	1.54	0.1975
Error	13.58	33	0.41		
Total	31.25	47			

Cuadro A-14. Prueba de Tukey para el factor variedades.

Variedad	Media	Número de valores	Error experimental
Soloma	1.81	16	0.16 A
Granola	1.75	16	0.16 A
Atlanta	1.31	16	0.16 A

Cuadro A-15. Prueba de Tukey en la interacción de variedades de papa con número de tallos.

Variedad	Número de Tallos	Media	Número de valores	Error experimental
Granola	Testigo	2.50	4	0.32 A
Granola	2	2.50	4	0.32 A
Soloma	2	2.50	4	0.32 A
Atlanta	Testigo	1.75	4	0.32 A
Soloma	3	1.75	4	0.32 A
Soloma	Testigo	1.50	4	0.32 A
Atlanta	2	1.50	4	0.32 A
Granola	3	1.25	4	0.32 A
Soloma	4	1.25	4	0.32 A
Atlanta	4	1.00	4	0.32 A
Atlanta	3	1.00	4	0.32 A
Granola	4	1.00	4	0.32 A

Cuadro A-16. Prueba de Tukey para el factor número de tallos.

Número de Tallos	Medias	Número de valores	Error experimental
Tres tallos	236.17	12	19.30 A
Dos tallos	220.58	12	19.30 A
Testigo	214.17	12	19.30 A
Cuatro tallos	210.08		19.30 A

Cuadro A-17. Prueba de Tukey para el factor número de tallos.

Número de Tallos	Medias	Número de valores	Error experimental
Tres tallos	31.74	12	1.51 A
Dos tallos	30.92	12	1.51 A
Testigo	30.43	12	1.51 A
Cuatro tallos	28.31	12	1.51 A

Cuadro A-18. Rendimiento de minituberculos en (g) de las tres variedades de papa.

TRATAMIENTOS	BNLOQUE I	BLOQUE II	BLOQUE III	BLOQUE IV	PROMEDIO
T1	332.3	380	242.8	384.9	335
T2	338.8	450.8	170.1	222.2	295.48
T3	282.7	363.8	227.1	331.8	301.35
T4	312.7	391.5	241.9	409.9	339
T5	210	172.2	133.4	182.6	174.55
T6	180	184.3	70.3	251.9	171.63
T7	315.5	79.1	191.2	115.2	175.25
T8	162.9	145.9	79.9	262.4	162.78
T9	210.9	151.9	157.3	89.3	152.35
T10	223.6	274.9	284.4	182.8	241.55
T11	161.4	181.7	147.8	123.1	153.2
T12	152.2	132.2	188.5	90.1	140.75

Fuente: Elaboración propia (2020).

Cuadro A-19. Resumen del número de minituberculos producidos en un área de 1 m².

TRATAMIENTOS	BLOQUE I	BLOQUE II	BLOQUE III	BLOQUE IV	PROMEDIO
T1	113.3	86.7	53.3	80	333
T2	80	80	46.7	113.3	320
T3	100	106.6	146.7	100	453
T4	106.7	60	100	60	327
T5	180	173.3	173.3	213.3	740
T6	240	126.7	173.3	140	680
T7	180	200	140	200	720
T8	166.7	180	153.3	173.3	673

T9	193.3	186.6	166.7	173.3	720
T10	193.3	153.3	180	193.3	720
T11	193.3	160	246.7	160	760
T12	200	160	13.3	160	653

Fuente: Elaboración propia (2020).

Cuadro A-20. Resumen del rendimiento en kg en un área de 1m².

VARIEDADES	BLOQUE I	BLOQUE II	BLOQUE III	BLOQUE IV	PROMEDIO Kg/ m²
T1	3.98	3.42	2.99	3.44	3.77
T2	4.25	3.76	1.69	2.93	3.87
T3	3.67	3.87	3.71	4.23	3.04
T4	4.28	3.74	2.59	4.47	3.45
T5	2.48	3.26	2.16	3.18	2.77
T6	3.06	3.05	2.74	3.31	3.04
T7	3.2	1.97	2.23	2.97	2.64
T8	3.32	2.00	1.57	3.12	2.5
T9	4.14	3.14	2.95	1.93	3.03
T10	294	3.24	2.92	3.74	3.21
T11	3.81	2.74	2.82	2.57	2.98
T12	2.58	3.52	2.77	2.06	2.74

Fuente: Elaboración propia (2020).



Figura A-1. Hidrotermógrafo.



Figura A-2. Conductivímetro.



Figura A-3. Toma de intensidad lumínica.



Figura A-4. Producción de minituberculos variedad Atlanta y diferente número de tallos.



Figura A-5. Producción de minituberculos variedad Granola y diferente número de tallos.



Figura A-6. Producción de minituberculos variedad Soloma y diferente número de tallos.



Figura A-7. Producción total de minituberculos en las tres variedades de papa Atlanta, Granola y Soloma.



Figura A-8. Categorización de minitubérculos variedades Atlanta, Granola y Soloma.



Figura A-9. Producción total de minitubérculos de las tres variedades Atlanta, Granola y Soloma.