

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE SAN MARCOS
CARRERA DE INGENIERO AGRÓNOMO CON ORIENTACIÓN EN
AGRICULTURA SOSTENIBLE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**EVALUACIÓN DE CINCO SUSTRATOS, EN LA OBTENCIÓN DE PLÁNTULAS
DE CINCO VARIEDADES DE PAPA (*solanum tuberosum* L.), CON EL
SISTEMA AUTOTRÓFICO HIDROPÓNICO (-SAH-) PARA LA PRODUCCIÓN
DE SEMILLA BÁSICA.**



GLENDALIVELY PÉREZ VELÁSQUEZ

ASESORES:

**ING. AGR. OSMAN CIFUENTES
ING. AGR. ENMANUEL VELÁSQUEZ A.**

“Id y enseñad a todos”

SAN MARCOS, FEBRERO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE SAN MARCOS



CONSEJO DIRECTIVO

DIRECTORA	Licda. Eugenia Elizabet Makepeace Alfaro
REPRESENTANTE DOCENTE	Ing. Aldo Mario René Tobar Gramajo
REPRESENTANTE DOCENTE	Lic. German Neptalí Castañón Orozco
REPRESENTANTE ESTUDIANTIL	Br. Adolfo Enrique Miranda escobar
REPRESENTANTE ESTUDIANTIL	Br. Rafael Antulio Mérida Rodríguez



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

CENTRO UNIVERSITARIO DE SAN MARCOS

COORDINACIÓN ACADÉMICA

COORDINADOR ACADÉMICO

Lic. Edwin René del Valle López

COORDINADORA CARRERA TÉCNICO EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA E INGENIERO AGRÓNOMO CON ORIENTACIÓN EN AGRICULTURA SOSTENIBLE

Licda. María de Lourdes Carrera
Munguía

COORDINADOR CARRERA DE PEDAGOGÍA Y CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN

Lic. Francisco Leonardo Hernández
Castillo

COORDINADOR CARRERA DE TRABAJO SOCIAL

Lic. Jesús Isabel Méndez Juárez

COORDINADOR CARRERA DE ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS

Lic. Robert Enrique Orozco
Sánchez

COORDINADOR CARRERA ABOGADO Y NOTARIO Y LICENCIATURA EN CIENCIAS JURÍDICAS Y SOCIALES

Lic. Hugo Alfredo Bautista del Cid

COORDINADOR CARRERA MEDICINA

Dr. Jorge Gutiérrez Hazbun

ENCARGADO EXTENSIONES SAN MARCOS Y TACANÁ

Lic. Juan Carlos López Navarro

ENCARGADO EXTENSIÓN MALACATÁN

Ing. Edgar Ronaldo de León
Cáceres

ENCARGADO EXTENSIÓN TEJUTLA

Lic. Victor Hugo Orozco Godínez

COORDINADOR DE ÁREA DE EXTENSIÓN

Lic. Byron Lionel Orozco García

COORDINADOR DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN

Ing. Rubén Francisco Ruiz
Mazariegos

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

CENTRO UNIVERSITARIO DE SAN MARCOS



COMITÉ DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

COORDINADOR

Ing. Agr. Aldo Mario Tobar Gramajo

SECRETARIO

Ing. Agr. Nehemías Juan Rivera

VOCAL

Ing. Agr. Leonel Alfredo Orozco

ASESORES

Ing. Agr. Osman Cifuentes

Ing. Agr. Enmanuel Velásquez A.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE SAN MARCOS



TRIBUNAL EXAMINADOR

DIRECTORA	Licda. Eugenia Elizabet Makepeace Alfaro
COORDINADOR ACADÉMICO	Lic. Edwin René del Valle López
COORDINADOR DE CARRERA	Licda. María de Lourdes Carrera Munguía
ASESOR	Ing. Agr. Osman Cifuentes
ASESOR	Ing. Agr. Enmanuel Velásquez A.

NOTA:

Los siguientes datos fueron obtenidos mediante la utilización de los recursos del Instituto de –ciencia y Tecnología Agrícola –ICTA- por lo que la publicación parcial o total de los mismos únicamente puede hacerse con previa autorización de dicha institución.

ÍNDICE.

	Pág.
Índice general.....	
Índice de cuadros.....	
Índice de graficas.....	
Índice de fotografías	
I. . Título.....	1
II. Resumen.....	2
III. Introducción.....	4
IV. Planteamiento del problema.....	6
V. Justificación.....	7
VI. Marco teórico.....	9
6.1 Marco conceptual.....	9
6.1.1 Origen del cultivo de la papa, <i>Solanum sp.</i>	9
6.1.2 Descripción Botánica de la papa.....	9
6.1.3 Clasificación Taxonómica de la papa.....	10
6.1.4 Principales zonas de Producción en Guatemala.....	10
6.1.5 Situación actual del cultivo de la papa en Guatemala.....	10
6.1.6 Variedades de papa	10
6.1.7 Sistema autotrófico hidropónico (SAH).....	12
6.1.7.1 Ventajas de la micro propagación autotrófica.....	12
6.1.7.2 Basado en.....	12
6.1.7.3 Mejor calidad de plántulas.....	12
6.1.7.4 Aumento de la productividad.....	13
6.1.7.5 Disminución de los costos.....	13
6.1.8 Sustratos.....	13
6.1.8.1 Arena de peña.....	14
6.1.8.2 Arena de origen volcánico.....	15
6.1.8.3 Sphagnum turba y otras formas de turba.....	15
6.1.8.4 Vermiculita.....	15
6.2 Marco referencial.....	16
6.2.1 Localización y descripción de la sede de estudio.....	16
6.2.1.1 Ubicación geográfica.....	16
6.2.1.2 Extensión.....	16
6.2.1.3 Vías de acceso.....	17
6.2.2 Clima.....	17
6.2.2.1 Altitud.....	17
6.2.2.2 Temperatura.....	17
6.2.2.3 Precipitación pluvial.....	17
6.2.2.4 Humedad relativa.....	17
6.2.2.5 Vientos.....	17
6.2.2.6 Zona de vida.....	17
6.2.2.7 Clasificación climática.....	17
6.2.3 Ámbito Institucional.....	17
VII. Objetivos.....	18
VIII. Hipótesis.....	19

IX.	Metodología y materiales.....	20
	9.1 Material vegetal.....	20
	9.2 Condiciones del cuarto de crecimiento.....	20
	9.3 Sustratos.....	20
	9.4 Incremento del material previo a realizar la evaluación de sustratos.....	20
	9.5 Tratamiento de los brotes.....	20
	9.6 Producción de plántulas a través del Sistema Autotrófico Hidropónico –SAH–.....	20
	9.6.1 Sustrato.....	20
	9.6.2 Contenedores.....	20
	9.6.3 Solución nutritiva.....	20
	9.6.3.1 Solución A.....	21
	9.6.3.2 Solución B.....	21
	9.6.4 Preparación de las soluciones nutritivas.....	21
	9.6.4.1 Solución A.....	21
	9.6.4.2 Solución B.....	21
	9.6.5 Preparación área de corte.....	22
	9.6.6 De micropropagación (MT) a sistema autotrófico hidropónico (–SAH–).....	22
	9.6.7 Plantación.....	22
	9.6.8 Incubación.....	22
	9.6.9 Multiplicación de caja a caja.....	22
	9.6.10 En el cuarto de cultivo.....	22
	9.6.11 Aclimatación.....	22
	9.6.12 Materiales.....	23
	9.6.13 Compuestos químicos	23
	9.6.14 Instrumentos.....	23
	9.6.15 Equipo.....	23
	9.6.16 Solución nutritiva A y B.....	23
X.	Variables diseño de investigación.....	25
	10.1 Independientes.....	25
	10.2 Dependientes.....	25
	10.3 Modelo matemático del diseño experimental.....	26
	10.4 Análisis de la información.....	26
	10.4.1 Estadístico.....	26
	10.4.2 Transformación.....	26
XI.	Resultados y discusión.....	27
	11.1 Costos de Producción de Plántulas de papa a través del Sistema Autotrófico Hidropónico –SAH–.....	55
	11.1.1 Análisis económico, en la determinación del costo de producción, de plántulas de papa, propagadas a través del Sistema Autotrófico Hidropónico –SAH–.....	58

	11.2 síntesis de resultados de la evaluación de cinco sustratos, en la obtención de plántulas de cinco variedades de papa (<i>Solanum tuberosum</i> L.), con el Sistema Autotrófico Hidropónico (-SAH-) para la producción de semilla básica.....	60
XII.	Conclusiones.....	63
XIII.	Recomendaciones.....	64
XIV.	Bibliografía.....	65
XV.	Glosario.....	67
XVI.	Anexos.....	79

Índice de cuadros

		Pág.
1. Cuadro 1.	Porcentaje de sobrevivencia obtenido de los sustratos y las variedades, de manera independiente en la evaluación de cinco sustratos, en la obtención de plántulas de cinco variedades de papa (<i>Solanum tuberosum</i> L.), con el Sistema Autotrófico Hidropónico -SAH-.....	27
2. Cuadro 2.	Longitud de plántula en centímetros, en la evaluación de cinco sustratos, en la obtención de plántulas de cinco variedades de papa (<i>Solanum tuberosum</i> L.), con el Sistema Autotrófico Hidropónico -SAH-.....	29
3. Cuadro 3.	Prueba de Tukey para la variable crecimiento de plántula, a través del parámetro longitud de plántula dado en centímetros, para variedades.....	31
4. Cuadro 4.	Número de entrenudos en la evaluación de cinco sustratos, en la obtención de plántulas de cinco variedades de papa (<i>Solanum tuberosum</i> L.), con el Sistema Autotrófico Hidropónico -SAH-.....	32
5. Cuadro 5.	Prueba de Tukey para la variable crecimiento de plántula, a través del parámetro número de entrenudos. Resultados para las medias de valores, en la interacción sustratos - variedad Pehuenche.....	34
6. Cuadro 6.	Prueba de Tukey para la variable crecimiento de plántula, a través del parámetro número de entrenudos. Resultados para las medias de valores, en la interacción sustratos - variedad Araucana.....	35

7. Cuadro 7.	Prueba de Tukey para la variable crecimiento de plántula, a través del parámetro número de entrenudos. Resultados para las medias de valores en la interacción sustratos - variedad Frital.....	36
8. Cuadro 8.	Prueba de Tukey para la variable crecimiento de plántula, a través del parámetro número de entrenudos. Resultados para las medias de valores, en la interacción sustratos - variedad Pampeana.....	38
9. Cuadro 9.	Prueba de Tukey para la variable crecimiento de plántula, a través del parámetro número de entrenudos. Resultados para las medias de valores en la interacción sustratos - variedad Loman.....	39
10. Cuadro 10.	Enraizamiento dado a través del parámetro longitud de raíces, en la evaluación de cinco sustratos, en la obtención de plántulas de cinco variedades de papa (<i>Solanum tuberosum L.</i>), con el Sistema Autotrófico Hidropónico – SAH-.....	40
11. Cuadro 11.	Prueba de Tukey para la variable enraizamiento, a través del parámetro longitud de raíces. Resultados para las medias de valores en la interacción sustratos - variedad Pehuenche.....	42
12. Cuadro 12.	Prueba de Tukey para la variable enraizamiento, a través del parámetro longitud de raíces. Resultados para las medias de valores en la interacción sustratos - variedad Araucana.	43
13. Cuadro 13.	Prueba de Tukey para la variable enraizamiento, a través del parámetro longitud de raíces. Resultados para las medias de valores en la interacción sustratos - variedad Frital.....	44
14. Cuadro 14.	Prueba de Tukey para la variable enraizamiento, a través del parámetro longitud de raíces. Resultados para las medias de valores en la interacción sustratos - variedad Pampeana.....	45
15. Cuadro 15.	Prueba de Tukey para la variable enraizamiento, a través del parámetro longitud de raíces. Resultados para las medias de valores en la interacción sustratos - variedad Loman.....	46

16. Cuadro 16.	Enraizamiento dado a través del parámetro número de raíces, en la evaluación de cinco sustratos, en la obtención de plántulas de cinco variedades de papa (<i>Solanum tuberosum L.</i>), con el Sistema Autotrófico Hidropónico -SAH-.....	47
17. Cuadro 17.	Prueba de Tukey para la variable enraizamiento, a través del parámetro número de raíces. Resultados para las medias de valores en la interacción sustratos - variedad Pehuenche.....	49
18. Cuadro 18.	Prueba de Tukey para la variable enraizamiento, a través del parámetro número de raíces. Resultados para las medias de valores en la interacción sustratos - variedad Araucana.....	50
19. Cuadro 19.	Prueba de Tukey para la variable enraizamiento, a través del parámetro número de raíces. Resultados para las medias de valores en la interacción sustratos - variedad Frital.	51
20. Cuadro 20.	Prueba de Tukey para la variable enraizamiento, a través del parámetro número de raíces. Resultados para las medias de valores en la interacción sustratos - variedad Pampeana.....	52
21. Cuadro 21.	Prueba de Tukey para la variable enraizamiento, a través del parámetro número de raíces. Resultados para las medias de valores en la interacción sustratos - variedad Loman.....	53
22. Cuadro 22.	Síntesis de resultados en la interacción Variedad/Sustrato, con el Sistema Autotrófico Hidropónico –SAH– para la producción de semilla básica.....	61

Índice de graficas

		Pág.
1.	Gráfica 1, Porcentaje de sobrevivencia, para la variable sustratos....	28
2.	Gráfica 2, Porcentaje de sobrevivencia, para la variable variedades.	28
3.	Gráfica 3, Longitud de plántula en centímetros obtenido de los sustratos, sin tomar en cuenta las variedades.....	29
4.	Gráfica 4, Longitud de plántula en centímetros, obtenido de las variedades sin tomar en cuenta los sustratos.....	30
5.	Gráfica 5, Prueba de Tukey para la variable crecimiento de plántula, a través del parámetro longitud de plántula.	31
6.	Gráfica 6, Crecimiento de plántula a través del parámetro número de entrenudos , para sustratos.....	32
7.	Gráfica 7, Crecimiento de plántula a través del parámetro número de entrenudos , para variedades.....	33
8.	Gráfica 8, Número de entrenudos resultados para las medias de valores, en la interacción sustratos - variedad Pehuenche ..	35
9.	Gráfica 9, Número de entrenudos resultados para las medias de valores, en la interacción sustratos - variedad Araucana.....	36
10.	Gráfica 10, Número de entrenudos resultados para las medias de valores, en la interacción sustratos - variedad Frital.....	37
11.	Gráfica 11, Número de entrenudos resultados para las medias de valores, en la interacción sustratos - variedad Pampeana...	38
12.	Gráfica 12, Número de entrenudos resultados para las medias de valores, en la interacción sustratos - variedad Loman.....	39
13.	Gráfica 13, Enraizamiento dado a través del parámetro longitud de raíces, para sustratos	40
14.	Gráfica 14, Enraizamiento dado a través del parámetro longitud de raíces, para variedades	41
15.	Gráfica 15, Enraizamiento resultados para las medias de valores, en la interacción sustratos - variedad Pehuenche.....	43
16.	Gráfica 16, Enraizamiento resultados para las medias de valores, en la interacción sustratos - variedad Araucana.....	44

17. Gráfica 17,	Enraizamiento resultados para las medias de valores, en la interacción sustratos - variedad Frital.....	45
18. Gráfica 18,	Enraizamiento resultados para las medias de valores, en la interacción sustratos - variedad Pampeana.....	46
19. Gráfica 19,	Enraizamiento resultados para las medias de valores, en la interacción sustratos - variedad Loman.....	47
20. Gráfica 20,	Enraizamiento de plántula dado a través del parámetro número de raíces, para sustratos.....	48
21. Gráfica 21,	Enraizamiento de plántula dado a través del parámetro número de raíces, para variedades.....	48
22. Gráfica 22,	Enraizamiento resultados para las medias de valores, en la interacción sustratos - variedad Pehuenche.....	50
23. Gráfica 23,	Enraizamiento resultados para las medias de valores, en la interacción sustratos - variedad Araucana.....	51
24. Gráfica 24,	Número de raíces. Resultados para las medias de valores, en la interacción sustratos – variedad Frital.....	52
25. Gráfica 25,	Enraizamiento resultados para las medias de valores, en la interacción sustratos - variedad Pampeana.....	53
26. Gráfica 26,	Enraizamiento resultados para las medias de valores, en la interacción sustratos - variedad Loman.....	54

Índice de fotografías

		Pág.
1.	Fotografía 1. Incremento del material previo a realizar la evaluación de los sustratos.....	85
2.	Fotografía 2. Tratamiento de los brotes. Después de desbrotar los mini tubérculos.....	85
3.	Fotografía 3. Producción de plántulas a través del Sistema Autotrófico Hidropónico –SAH-.....	85
4.	Fotografía 4. Preparación de sustratos.....	85
5.	Fotografía 5. Preparación de contenedores.....	86
6.	Fotografía 6. Elaboración de soluciones nutritivas hidropónicas.....	86
7.	Fotografía 7. Preparación área de corte.....	86
8.	Fotografía 8. Plantación.....	86
9.	Fotografía 9. Multiplicación de caja a caja.....	87
10.	Fotografía 10. Caja con 28 esquejes medios.....	87
11.	Fotografía 11. Incubación.....	87
12.	Fotografía 12. Riego.....	87
13.	Fotografía 13. Obtención de resultados, medición de plántulas y conteo de número de entrenudos.....	88
14.	Fotografía 14. Obtención de resultados, medición y conteo de raíces...	88
15.	Fotografía 15. Cuarto de cultivo.....	88
16.	Fotografía 16. Aclimatación.....	88

I. TÍTULO:

Evaluación de cinco sustratos en la obtención de plántulas de cinco variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) con el Sistema Autotrófico Hidropónico (–SAH–) para la producción de semilla básica.

II. RESUMEN

Evaluación de cinco sustratos, en la obtención de plántulas de cinco variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.), con el Sistema Autotrófico Hidropónico (–SAH–) para la producción de semilla básica.

El Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas -ICTA- ha desarrollado y generado tecnología para la producción de papa, para semilla de alta calidad y consumo. En los últimos años, ha perfeccionado técnicas en producción de semilla, usando el sistema in vitro, invernadero, campo pero con un costo elevado, especialmente en rubros como: gelificantes, agua destilada, mano de obra especializada, cristalería necesaria e insumos para la producción de vitroplantas que representan el 28% de los costos directos. ⁽¹²⁾ De igual manera la energía eléctrica debido a la iluminación y aire acondicionado, que representa el 12% de los costos directos (ICTA). Además el uso de autoclave en el procedimiento de esterilización eleva aun más los costos. Debido a esto en la actualidad pocos productores han tenido acceso a este tipo de material, ⁽¹²⁾ por ello hacen uso de semilla no certificada. Esto trae como consecuencias enfermedades, bajos rendimientos, mayores costos de producción, baja calidad y otros. Debido a ello se planteo el presente trabajo de investigación, para evaluar una nueva tecnología, para la producción de plántulas de papa a un menor costo.

La investigación tuvo como objetivo principal el de contribuir al desarrollo de tecnología del cultivo de la papa en Guatemala utilizando el Sistema Autotrófico Hidropónico –SAH–, en la producción de plántulas para la obtención de semilla básica de papa.

La metodología utilizada fue: Incremento del material previo a realizar la evaluación de sustratos, tratamiento de los brotes, producción de plántulas a través del Sistema Autotrófico Hidropónico –SAH–, preparación de sustratos, preparación de contenedores, preparación área de corte, preparación de solución nutritiva A y B, preparación de sales, de micropropagación (MT) a Sistema Autotrófico Hidropónico (–SAH–), plantación, incubación, multiplicación de caja a caja, aclimatación a invernadero, traslado al cuarto de cultivo. El diseño experimental utilizado fue irrestricto al azar distribuido en parcelas divididas.

Las variables estudiadas fueron: Independientes; Sustratos: Arena, poma fina, peat moss, arena + peat moss (50% + 50%), poma + peat moss (50% + 50%). Variedades: Pehuenche, Calén, Frital, Pampeana y Loman. Las variables de respuesta evaluadas: Porcentaje de sobrevivencia, crecimiento de plántula y enraizamiento.

Los resultados mostraron que para la variedad Pehuenche el sustrato que proporcione el mejor efecto en la producción de plántulas fue la arena y para la variedad Frital fue la combinación 50% + 50% de poma fina + Peat moss. La producción de plántulas de papa, a través del Sistema Autotrófico Hidropónico -SAH-, es económicamente favorable, con un costo unitario de 1.87 quetzales por plántula.

Evaluation of five substrates, in the obtaining of plántulas of five potato varieties (*Solanum tuberosum L*), with the System Autotrophic Hydroponic (-SAH -) for the production of basic seed.

The Institute of Science and Agricultural Technology -ICTA - it has developed and generated technology for the potato production, for seed of high quality and consumption. In the last years, it has perfected technical in seed production, using the system in vitro, hothouse, field but with a high cost especially in items like: gelificantes, dilutes distilled, specialized manpower, necessary glassware and inputs for the vitroplantas production that you/they represent 28% of the direct costs. ⁽¹²⁾ In a same way the electric power due to the illumination and conditioned air that it represents 12% of the direct costs (ICTA). Also the autoclave use in the sterilization procedure even rises more the costs. Due to this few producers have had access at the present time to this material type, ⁽¹²⁾ for they make it use of non certified seed. This brings as consequences illnesses, low yields, bigger production costs, low quality and others. Due to it you outlines the present investigation work, to evaluate a new technology, for the production of potato plántulas at a smaller cost.

The investigation had as main objective the one of contributing to the development of technology of the cultivation of the potato in Guatemala using the System Autotrophic Hydroponic -SAH -, in the plántulas production for the obtaining of basic seed of potato.

The used methodology was: I increase from the previous material to carry out the substrates evaluation, treatment of the buds, plántulas production through the System Autotrophic Hydroponic -SAH -, substrates preparation, preparation of containers, preparation court area, preparation of nutritious solution A and B, preparation of salts, of micropropagación (MT) to System Autotrophic Hydroponic (-SAH-), plantation, incubation, box multiplication to box, acclimatization to hothouse, transfer to the cultivation room. The used experimental design was irrestricto at random distributed in divided parcels.

The studied variables were: Independent; Substrates: Sand, fine poma, peat moss, sand + peat moss (50% + 50%), poma + peat moss (50% + 50%). Varieties: Pehuenche, Calén, Frital, Pampeana and Loman. The evaluated answer variables: Percentage of survival, plántula growth and enraizamiento.

The results showed that for the variety Pehuenche the substrate that I provide the best effect in the plántulas production was the sand and for the variety Frital was the combination 50% + 50% of fine poma + Peat moss. The production of potato plántulas, through the System -SAH -, it is economically favorable, with an unitary cost of 1. 87 quetzals for plántula.

III. INTRODUCCIÓN

La papa (**Solanum tuberosum L.**), es un cultivo de importancia en la alimentación humana; ocupa el cuarto lugar entre los principales cultivos alimenticios en el mundo. ⁽⁴⁾ Según datos de la FAO, la producción mundial en el 2001 fue aproximadamente de 308 millones de toneladas en 19 millones de hectáreas con una productividad media de 16 t/ha. Más de un tercio de la producción mundial de papa proviene de los países en desarrollo. A comienzos de los años 60, éstos producían apenas el 11 por ciento. Esto último indica que los esfuerzos en investigación han jugado un papel importante en este cultivo, al proporcionar a los agricultores de escasos recursos una serie de nuevas tecnologías. ⁽⁵⁾

En el caso de Guatemala la papa es un cultivo adaptado a regiones frías o templadas a altitudes de 1,500 a 3,600 msnm. La mayor cantidad de plantaciones de papa, está concentrada en el altiplano occidental del país, conformado en su orden por los departamentos de: Huehuetenango, San Marcos y Quetzaltenango, los cuales concentran un 85% de las unidades productivas y un 76.76% de la producción nacional. ⁽⁶⁾

Variedades redondas o alargadas, destinadas al consumo en fresco o a la industrialización, son producidas comercialmente en nueve departamentos y veinticuatro municipios del país, con la consiguiente generación de empleo e ingresos económicos para las familias que se dedican a esta actividad agrícola. ⁽⁵⁾

En el altiplano occidental de Guatemala cada vez es mayor el número de agricultores dedicados a la producción de papa que se integran al mercado de productos agrícolas, se estima que son 55,000 entre medianos y pequeños productores. La creciente participación se debe a las oportunidades que este cultivo ofrece, cuyos beneficios económicos se traducen para los agricultores en ingresos, empleo y opciones de inversión. ⁽⁵⁾

El sector papicultor ha enfrentado múltiples problemas que inciden directamente en un bajo nivel de productividad, lo que repercute en la pérdida progresiva de los mercados nacionales y centroamericanos. Dentro de los principales problemas se encuentra el relacionado con el uso de semilla tradicional o del agricultor. Además los bajos rendimientos y los altos costos de producción hacen poco competitivos a los productores de papa que se sienten desprotegidos en el nuevo contexto de mercados abiertos. Esta situación se debe principalmente a la utilización de papa-semilla de mala calidad. ⁽⁵⁾

Los sistemas actuales de producción de plántulas para la producción de tubérculos – semilla, necesitan técnicas de micropropagación *in vitro* para producir una gran cantidad de plántulas genéticamente idénticas, que inicia del cultivo de meristemos o yemas. ⁽⁸⁾

En el ICTA, se han evaluado varios sistemas para la producción de semilla de alta calidad, sin embargo los costos de producción por la utilización de estas

técnicas se han incrementado, particularmente los relacionados con la micropropagación en condiciones de laboratorio han aumentado significativamente el costo total de las plántulas. Principalmente en rubros como: energía eléctrica que se utiliza para la iluminación, funcionamiento del aire acondicionado y de aparatos, también el costo de los gelificantes, agua destilada, mano de obra especializada, cristalería necesaria e insumos para la producción de vitroplantas que representan el 28% de los costos directos, esto hace que el costo final de las plántulas sea muy elevado e inaccesible para los productores de semilla de papa.⁽¹³⁾

El reto actual de los propagadores de plantas está en la disminución de los costos y la diversificación de las producciones, ampliando el rango de especies beneficiadas por esta tecnología, para lo cual es necesario hacer uso del crecimiento fotoautotrófico, es decir crecimiento por fotosíntesis (clorofila), donde la planta crece porque usa CO₂ de la atmósfera como fuente de carbono, sin requerir de laboratorios tan sofisticados y de alto costo.⁽¹⁷⁾

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal el de Contribuir al desarrollo de tecnología del cultivo de la papa en Guatemala utilizando el Sistema Autotrófico Hidropónico –SAH–, en la producción de plántulas para la obtención de semilla básica de papa.

El Sistema Autotrófico Hidropónico –SAH- se baso en el cultivo autotrófico de las plántulas, donde el crecimiento de las plantas se realizo sobre sustratos sólidos como arena de rio, poma fina y peat moss, en recipientes desechables, en condiciones semi-estériles.

A los datos obtenidos se aplico análisis estadístico (ANDEVA), prueba de medias a través de análisis de Tukey, para determinar el o los mejores tratamientos de acuerdo con los objetivos establecidos para el estudio.

La investigación se llevo a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Biotecnología del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas – ICTA- Labor Ovalle, del municipio de Olinstepeque del departamento de Quetzaltenango.

IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Dentro de los principales problemas del cultivo de la papa, se encuentra el relacionado con el uso de semilla no certificada, esta es una semilla producida por el agricultor sin ningún manejo técnico específico, en su propia parcela y con su propia tecnología, o es obtenida de las parcelas de producción de papa comercial o de consumo, o del producto que llega a los mercados locales. Esto trae como consecuencias enfermedades, bajos rendimientos, mayores costos de producción, baja calidad y otros. El acceso de los agricultores al tubérculo-semilla de alta calidad está limitado por su alto costo, lo que la hace inaccesible para la mayoría de los productores. ⁽⁵⁾

Los sistemas actuales de producción de plántulas para la obtención de tubérculos – semilla, necesitan técnicas de micropropagación *in vitro*,⁽¹⁷⁾ pero uno de los problemas comunes es la contaminación del medio con microorganismos. Esto no sólo afecta el crecimiento y la sanidad de las plántulas sino que ocasiona grandes pérdidas de plántulas y repercute en el ya elevado costo de producción de estos laboratorios. El uso de antibióticos en el medio no ha resultado una solución práctica ya que en la mayoría de las especies se han observado efectos fitotóxicos. ⁽¹⁷⁾

En el ICTA, se han evaluado varios sistemas para la producción de semilla de alta calidad, sin embargo los costos de producción por la utilización de estas técnicas se han incrementado, particularmente los relacionados con la micropropagación en condiciones de laboratorio han aumentado significativamente el costo total de las plántulas, principalmente en rubros como: gelificantes, agua destilada, mano de obra especializada, medios nutritivos que incluyen sacarosa, reguladores de crecimiento, cristalería necesaria e insumos que representan el 28% de los costos directos. ⁽¹³⁾ De igual manera la energía eléctrica ya que se requiere de iluminación y aire acondicionado, lo que representa el 12% de los costos directos -ICTA-. Además el uso de autoclave en el procedimiento de esterilización eleva aun más los costos. ⁽¹³⁾ El reto actual de los propagadores de plantas está en la disminución de los costos y la diversificación de las producciones.

Por ello surge el siguiente cuestionamiento **¿Como establecer métodos que reduzcan costos y faciliten su implementación sin comprometer la calidad, en la obtención de plántulas de papa, para la producción de semilla básica?**

Esta investigación nace como respuesta a la urgencia de establecer métodos que reduzcan costos y tiempo, ya que evaluó la producción de plántulas de papa, que resultaron de la siembra de esquejes, cultivados en condiciones fotoautotróficas, sobre sustratos que son de fácil acceso que permiten una reducción de costos.

Además, con el cambio al Sistema Autotrófico Hidropónico –SAH-, otra ventaja es que esta tecnología puede estar al alcance de los pequeños y medianos productores de semilla de papa. ⁽¹⁶⁾

V. JUSTIFICACIÓN

La papa es un recurso fitogenético que ha repercutido positivamente en todas las culturas de América debido a su contenido alimenticio, considerada como una de las fuentes nutricionales más importantes para el ser humano, debido a su alto contenido de carbohidratos con 19.40 % . La papa presenta una media de 2.1% de proteína total, que significa cerca de 10.4% del peso seco del tubérculo. Esto puede ser considerado excelente si tomamos en cuenta que el trigo y el arroz representan valores del 13 y 7.5% respectivamente. Considerando las producciones y contenidos de proteínas de cada cultivo, la papa puede rendir cerca de 300 Kg de proteína por hectárea, el trigo 200 Kg/ha y el arroz 168 Kg/ha.

A nivel mundial, ocupa el cuarto lugar en importancia, superado solamente por el trigo, arroz y maíz. El Cultivo de la papa en Centro América y el Caribe representa una importante fuente alimenticia y de negocios para la agricultura familiar campesina y empresarial. ⁽⁴⁾

Estudios realizados por el Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá – INCAP-, indican que el 77.9% de la población guatemalteca consume regularmente la papa, siendo en la región del altiplano occidental donde el consumo es mayor, con un valor aproximado promedio de 29 gr/día. Este cultivo representa para una gran mayoría de agricultores parte de su dieta básica ⁽⁷⁾

Chávez (2010), indica que la papa en Guatemala está considerada como una hortaliza y constituye el tercer cultivo en importancia después del maíz y frijol. Actualmente en Guatemala, se produce en 8 de los 23 departamentos.

El comportamiento poblacional del hombre es un factor de cambio. Cada año la población se incrementa en alrededor de 100 millones. ⁽¹¹⁾ En el caso de Guatemala según los pronósticos de la FAO la población guatemalteca se duplicara para el año 2025, o sea que de 12 millones de habitantes que se tiene en la actualidad se pasaran a tener 24 millones, el reto que el mundo y el país tendrán que enfrentar, es la forma de contar con el recurso para alimentar a dicha población y garantizar la seguridad alimentaria. ⁽⁵⁾

La papa es uno de los pocos alimentos capaces de nutrir a la creciente población mundial no solo como alimento sino como fuente de proteínas, vitaminas y minerales. Estas razones hacen que la papa pueda desempeñar un rol decisivo en la lucha contra el hambre y la pobreza. ⁽⁶⁾

Los índices de multiplicación que se pueden alcanzar en papa tienen una progresión geométrica, de cada plántula madre *in vitro* se pueden obtener nudos para generar plántulas para una siguiente propagación. En condiciones de laboratorio, en un año, pueden llegar a producirse teóricamente gran cantidad de plántulas, garantizándose una provisión permanente y oportuna de plantas *in vitro* de óptima calidad sanitaria pero a un elevado costo. Por tal motivo se hace necesario iniciar trabajos de investigación tras la búsqueda de nuevas opciones

que procuren la innovación del proceso y que a su vez los costos se reduzcan. Los países productores de papa en sus últimas experiencias han inducido la autotrofia que puede convertirse en una buena opción tecnológica, en la producción de semilla. ⁽¹²⁾

A partir de ello, se desarrolló un método de propagación de plántulas combinando técnicas de micropropagación y de multiplicación autotrófica en el cual se favorece el crecimiento de las plántulas de papa y se reducen al mínimo las pérdidas debido a la contaminación y al estrés de trasplante. ⁽¹⁶⁾

Por medio de este sistema, denominado –SAH– (Sistema Autotrófico Hidropónico) que se basa en el cultivo autotrófico que es el crecimiento fotoautotrófico es decir crecimiento por fotosíntesis (clorofila), donde la planta crece porque usa CO₂ de la atmósfera como fuente de carbono. Este sistema de propagación permite las ventajas siguientes : Incremento del crecimiento y desarrollo de los explantes, no se observan desórdenes fisiológicos y morfológicos, crecimiento uniforme dentro de los contenedores, se simplifican las etapas de enraizamiento y aclimatación, se minimiza el uso de reguladores de crecimiento, disminuyen los problemas por contaminación, se pueden utilizar contenedores de mayor tamaño, control del crecimiento (altura y el vigor de la plántula) por medio de factores ambientales. Este trabajo se ha basado en estos conceptos del cultivo fotoautotrófico, combinados con conceptos del cultivo hidropónico, manteniendo ciertos requerimientos y técnicas de la micropropagación *in vitro*. ⁽¹⁶⁾

Dentro de la búsqueda de sustratos alternativos para evaluar el sistema -SAH- se considero a la arena poma por ser un material disponible en el país; Guatemala forma parte de las tres grandes vertientes por lo que la existencia de ríos ⁽³⁾, permite la obtención de la arena de rio y finalmente el Peat Moss (fórmula con vermiculita) es adquirido en casas comerciales que distribuyen este producto.

En la actualidad el costo de cada plántula producida en el laboratorio de biotecnología del ICTA es de Q. 3.06 (\$0.37), mientras que con la implementación del Sistema Autotrófico Hidropónico –SAH–, se reduce significativamente.

Se considero de gran importancia la investigación, además, por encontrarse dentro de un proyecto que forma parte de las líneas de investigación del proyecto FONTAGRO, que se realiza a nivel Centroamericano, por lo que se dispuso de los recursos económicos, humanos y materiales necesarios para su adecuado establecimiento y manejo, también se conto con el apoyo del ICTA en cuanto a infraestructura y equipo de laboratorio de biotecnología, así como el personal encargado del mismo, por lo que la factibilidad del estudio fue debidamente respaldada, lo que aseguro que el estudio se realizara de una manera técnica.

VI. MARCO TEÓRICO

6.1 Marco Conceptual.

6.1.1 Origen del cultivo de la papa, *Solanum sp.*

El cultivo de la papa se originó en la cordillera andina, donde esta planta evolucionó y se cruzó con otras plantas silvestres del mismo género, presentando una gran variabilidad. ⁽⁹⁾

La papa llega a Europa en el siglo XVI por dos vías diferentes: una fue España hacia 1570, y otra fue por las Islas Británicas entre 1588 y 1593, desde donde se expandió por toda Europa. Realmente el desarrollo de su cultivo comienza en el siglo XVIII, a partir de producciones marginales y progresivamente va adquiriendo cierta importancia transcurridos 200 años. ⁽⁹⁾

6.1.2 Descripción Botánica.

Es una planta herbácea, vivaz, dicotiledónea, provista de un sistema aéreo y otro subterráneo de naturaleza rizomatosa del cual se originan los tubérculos. ⁽⁹⁾

a) Raíces: Son fibrosas, muy ramificadas, finas y largas. Las raíces tienen un débil poder de penetración y sólo adquieren un buen desarrollo en un suelo mullido. ⁽⁹⁾

b) Tallos: Son aéreos, gruesos, fuertes y angulosos, siendo al principio erguido y con el tiempo se van extendiendo hacia el suelo. Los tallos se originan en la yema del tubérculo, siendo su altura variable entre 0.5 y 1 metro. Son de color verde pardo debido a los pigmentos antociánicos asociados a la clorofila, estando presentes en todo el tallo. ⁽⁹⁾

c) Rizomas: Son tallos subterráneos de los que surgen las raíces adventicias. Los rizomas producen unos hinchamientos denominados tubérculos, siendo éstos ovales o redondeados. ⁽⁹⁾

d) Tubérculos: Son los órganos comestibles de la papa. Están formados por tejido parenquimático, donde se acumulan las reservas de almidón. En las axilas del tubérculo se sitúan las yemas de crecimiento llamadas “ojos”, dispuestas en espiral sobre la superficie del tubérculo. ⁽⁹⁾

e) Hojas: Son compuestas, imparpinnadas y con folíolos primarios, secundarios e intercalares. La nerviación de las hojas es reticulada, con una densidad mayor en los nervios y en los bordes del limbo. ⁽⁹⁾

f) Inflorescencias: Son cimosas, están situadas en la extremidad del tallo y sostenidas por un escapo floral. Es una planta autógama, siendo su androesterilidad muy frecuente, a causa del aborto de los estambres o del polen según las condiciones climáticas. Las flores tienen la corola rosácea gamopétala de color blanco, rosado, violeta, etc. ⁽⁹⁾

g) Frutos: En forma de baya redondeada de color verde de 1 a 3 cm. de diámetro, que se tornan amarillos al madurar. ⁽⁹⁾

6.1.3 Clasificación taxonómica de la papa.

Reino: Vegetal
División: Magnoliophyta
Clase: Magnolipsida
Subclase: Asteridae
Orden: Solanales
Familia: Solanaceae
Género: Solanum
Especie: *Solanum tuberosum* L. ⁽⁹⁾

6.1.4. Principales zonas de producción en Guatemala.

De acuerdo con las condiciones bioclimáticas de las regiones, dentro de las áreas óptimas para el cultivo de la papa se encuentran los siguientes departamentos: Huehuetenango, San Marcos, Quetzaltenango, Sololá, Chimaltenango, Sacatepéquez, Quiché, Totonicapán, Guatemala, Alta Verapaz, Baja Verapaz, Jutiapa y Jalapa. ⁽¹¹⁾

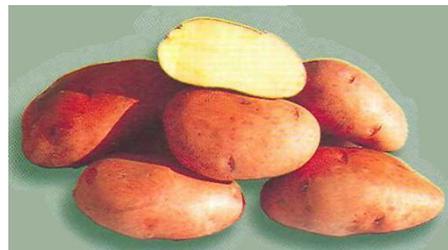
6.1.5 Situación actual del cultivo de la papa en Guatemala.

En Guatemala, el cultivo de la papa se realiza en áreas con temperaturas templadas, preferentemente menores de 20°C. En este tipo de clima la papa se desarrolla adecuadamente y se obtiene la mejor productividad, hay poca dificultad con plagas y enfermedades y los tubérculos se desarrollan bien fisiológicamente. Se cuenta con la ventaja que Guatemala posee 17 microclimas que permiten cultivar papa a lo largo de todo el año. El ciclo del cultivo en Guatemala, oscila entre los 70 – 100 días. Según diferentes estudios, la calidad de la papa queda definida por su forma y tamaño uniforme y sin defectos físico, limpieza (libre de enfermedades y virus) y textura. ⁽¹¹⁾

6.1.6 Variedades de papa.

6.1.6 .1 Pehuenche.

Origen: Esta variedad de papa se origino en el Centro Regional de Investifgacion Remehue del INIA, de un cruzamiento realizado en 1977 entre la variedad Desirée como madre y un grupo de clones de la colección del banco chileno de germoplasma de papa, de los cuales se obtuvo el polen para fertilizar Desirée. ⁽¹⁰⁾



Calidad culinaria: Posee una leve tendencia a una desintegración posterior, se usa principalmente para consumo en fresco, pero por su elevado contenido de sólido puede ser una alternativa en proceso como almidón y otros. ⁽¹⁰⁾

Características de planta y tubérculo: La planta tiene un crecimiento vigoroso. Normalmente no produce flores maduras, ya que abortan en el estado de botón floral, los tubérculos son redondos, ovalados, aplanados y con ojos superficiales; la piel roja y la pulpa amarilla. ⁽¹⁰⁾

6.1.6.2 Frital INTA.

Origen: Serrana INTA x Katahdin.

Tubérculos: Oval alargada, piel lisa, ojos superficiales. Carne blanca, buen calibre. Rendimiento alto.

Enfermedades: Resistente a sarna, fusariosis y rhizoctoniasis. Susceptible a virus Y. ⁽¹⁰⁾

Calidad culinaria: Excelente para papas fritas en bastones, buena para hervido y puré. Media a alta materia seca.

Generalidades: Necesita riego uniforme al inicio de tuberización y densidades de siembra bajas (35 bls/ha.). Ciclo largo (120 días). Apta para mercado fresco o industria. Brotación tardía, buena conservación. ⁽¹⁰⁾



6.1.6.3 Pampeana INTA.

Origen: MPI 59.789/12 x Huinkul MAG

Tubérculos: Redondos, piel casposa, carne blanca, calibre mediano. Rendimiento alto.

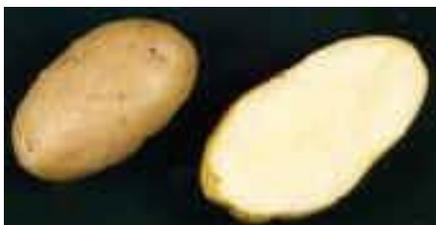


Enfermedades: Resistente a PRLV, PVY, PVX y a Phytophthora infestans. Buen comportamiento a Sarna. ⁽¹⁰⁾

Calidad culinaria: Muy alta materia seca. Excelente para hervido y puré deshidratado. Aceptable para frita en rodajas.

Generalidades: Madurez temprana. Almacena bien. Brotación ⁽¹⁰⁾

6.1.6.4 Calén INTA.



Origen: Kennebec x Sierra Larga INTA

Tubérculos: Oval alargados, calibre grande, piel lisa, carne crema. Rendimiento muy alto.

Enfermedades: Resistentes a PLRV

Calidad culinaria: Para consumo fresco. ⁽¹⁰⁾

6.1.6.5 Loman.

Planta con tallos y hojas de color verde oscuro. Su altura de planta varía desde 20 – 30 cm. (3,500 msnm) a 60 – 65 cm. (2,300 msnm). En condiciones de campo no produce flores o algunas veces pocas. La forma del tubérculo puede variar de



oblongo alargado a alargado. La pulpa y piel es de color crema, susceptible a tizón tardío. Su ciclo vegetativo varía de 80 – 90 días (2,390 msnm) a 120 días (3,500 msnm). A 2,300 msnm presenta 18.8% de sólidos y 13.2% de almidón. De acuerdo a su uso, se caracteriza por ser excelente para papas hervidas y purés; de regular a buena para papalina y enlatadas. Presenta una textura serosa. Los rendimientos pueden variar de 15 t/ha (3,500 msnm) a 20 -30 t/ha (2,390 msnm).

6.1.7 Sistema Autotrófico Hidropónico -SAH-

El SAH, es un sistema de propagación que fue desarrollado bajo el principio de que las plantas *in vitro* tienen una pequeña capacidad fotosintética que, al proporcionarles condiciones físicas adecuadas pueden crecer autotróficamente en contenedores amplios de plástico, con sustrato y soluciones nutritivas, sin adicionar sacarosa y reguladores de crecimiento. ⁽¹²⁾

En la actualidad, el productor semillerista de Argentina cuenta con un sistema de producción de plántulas de fácil implementación: SAH, sistema autotrófico hidropónico. Esta tecnología, desarrollada en el Laboratorio de cultivos *In Vitro* del PROPAPA (Proyecto Integrado Para el Mejoramiento de la Calidad de la Papa), le permite producir al agricultor sus propias plántulas *in vitro* sin necesidad de un sofisticado laboratorio o equipamiento. Además, el sistema SAH permite producir una mayor cantidad de plántulas en menor tiempo, de mejor calidad fisiológica, de mayor adaptación al trasplante y a un menor costo que el sistema tradicional. ⁽¹²⁾

6.1.7.1 Ventajas de la micro propagación autotrófica.

- 1 Incremento del crecimiento y desarrollo de los explantes.
- 2 No se observan desórdenes fisiológicos y morfológicos.
- 3 Crecimiento uniforme dentro de los contenedores.
- 4 Se simplifican las etapas de enraizamiento y aclimatación.
- 5 Se minimiza el uso de reguladores de crecimiento.
- 6 Disminuyen los problemas por contaminación.
- 7 Se pueden utilizar contenedores de mayor tamaño.
- 8 Control del crecimiento, altura y el vigor de la plántula por medio de factores ambientales. ⁽¹²⁾

6.1.7.2 Basado en:

- 1 Capacidad foto autotrófica de las plántulas.
- 2 Conceptos de hidroponía.
- 3 Manejo de los factores ambientales.
- 4 Micro propagación. ⁽¹²⁾

6.1.7.3 Mejor calidad de plántulas.

- 1 Mayor tamaño.
- 2 Mejor funcionamiento fisiológico.
- 3 Crecimiento uniforme. ⁽¹²⁾

6.1.7.4 Aumento de la productividad.

- 1 Disminución de pérdidas por contaminaciones.
- 2 Disminución del shock de trasplante.
- 3 Mayor cantidad de plántulas en menor tiempo. ⁽¹²⁾

6.1.7.5 Disminución de los costos.

- 1 Utilización de materiales económicos.
- 2 Disminución de etapas de alto consumo de mano de obra.
- 3 Simplicidad y rapidez en el trasplante.
- 4 Excelente adaptación y rápido crecimiento luego del trasplante.
- 5 Rápido crecimiento.
- 6 Ciclo más corto en invernaderos. ⁽¹²⁾

6.1.8 Sustratos.

Un sustrato es el medio material donde se desarrolla el sistema radicular del cultivo. Se denomina sustrato a un medio sólido inerte que cumple 2 funciones esenciales:

- 1 Anclar y aferrar las raíces protegiéndolas de la luz y permitiéndoles respirar.
- 2 Contener el agua y los nutrientes que las plantas necesitan.

Los gránulos componentes del sustrato deben permitir la circulación del aire y de la solución nutritiva. Se consideran buenos aquellos que permiten la presencia entre 15% y 35% de aire y entre 20% y 60% de agua en relación con el volumen total. Muchas veces es útil mezclar sustratos buscando que unos aporten lo que les falta a otros, teniendo en cuenta los aspectos siguientes:

- 1 Retención de humedad.
- 2 Alto porcentaje de aireación.
- 3 Físicamente estable.
- 4 Biológicamente inerte.
- 5 Excelente drenaje.
- 6 Poseer capilaridad.
- 7 Liviano.
- 8 De bajo costo.
- 9 Alta disponibilidad.

La mayoría de los sustratos empleados son de origen natural. Los podemos dividir en orgánicos (turberas, serrín, corteza de pino, fibra de coco, cáscara de arroz, compost, etc.) e inorgánicos. Dentro de estos últimos distinguimos los que se usan sin ningún proceso previo aparte de la necesaria homogeneización granulométrica (gravas, arenas, puzolana, picón, otras) y los que sufren algún tipo de tratamiento previo, generalmente a elevada temperatura, que modifica totalmente la estructura de la materia prima (lana de roca, perlita, vermiculita, arlita, arcilla expandida).

Dentro de los materiales sintéticos podemos nombrar las espumas de poliuretano y el poliestireno expandido, aunque su uso está poco difundido. ⁽¹⁵⁾

Los sustratos inertes deben presentar una elevada capacidad de retención de agua fácilmente disponible (20-30% en volumen), un tamaño de partículas que posibilite una relación aire/agua adecuada, baja densidad aparente (alta porosidad, >85%), estructura y composición estables y homogéneas, capacidad de intercambio catiónico nula o muy baja, ausencia total de elementos tóxicos, hongos o esporas, bacterias y virus fitopatógenos. ⁽¹⁵⁾

Antes de efectuar el trasplante es recomendable que el sustrato sea esterilizado en un autoclave a una temperatura de 121 °C por 30 a 60 minutos dependiendo de la cantidad, lo cual reducirá la incidencia de patógenos, particularmente aquellos que causan la pudrición de la raíz. ⁽¹⁵⁾

La actividad fotosintética durante las primeras etapas de la planta bajo condiciones *in vitro* no es necesaria, ya que a la planta se le suministran los elementos básicos para su desarrollo mediante un medio nutritivo, encontrándose así en un estado heterotrófico y pasando a un estado autotrófico al ser trasplantados a suelo. ⁽¹⁵⁾

6.1.8.1 Arena de peña (piedra pómez):

Según Burés “la piedra pómez o pumita es una piedra de origen volcánico. Cuando el magma entra en contacto con la atmósfera contiene un 2-3 % de agua que se evapora rápidamente, expandiendo el material, esto hace que el material sea poroso y ligero. La piedra pómez se obtiene en minas abiertas y se debe lavar para eliminar los restos de barro, evitando que contenga basalto como impureza. Existen distintas granulometrías que se obtienen mediante cribado.

Es un material casi estéril, que no contiene microorganismos ni semillas de malas hierbas. Su pH es alrededor de 7. Su aireación es elevada y tiene poca agua fácilmente disponible. ⁽²⁾

Se utiliza para el cultivo hidropónico de hortalizas (tomate, pepino, pimiento), se puede reutilizar esterilizándola con calor. En el ICTA se utiliza como componente de sustratos debido a que provee a la mezcla de mejor estructura, espacio poroso y drenaje, se tamiza por una malla metálica de 12mm. de abertura. ⁽²⁾

La arena se usa mucho como medio para enraizar. Es relativamente poco costosa y fácil de obtener. Sin embargo, la arena no retiene la humedad como lo hacen otros medios para enraizamiento y necesita regarse con más frecuencia. La arena debe ser lo suficientemente fina como para retener algo de humedad alrededor de los materiales de propagación vegetal y lo bastante gruesa como para permitir que el agua se drene fácilmente a través de ella. Los propágulos de algunas especies que enraízan en arena producen una raíz larga, no ramificada y quebradiza, en contraste con los sistemas radicales fibrosos y ramificados que se desarrollan en otros medios. ⁽²⁾

6.1.8.2 Arena de origen volcánico:

Material presente en suelos de Guatemala tiene una mediana capacidad de retención de agua al mismo tiempo la posibilidad de aireación del suelo. Tiene forma irregular, también partículas de tierra lo que impide además la compactación. Es un medio de propagación y es un material inerte, sustancia natural. ⁽²⁾

6.1.8.3 Sphagnum turba y otras formas de turba:

Es comúnmente usado ya que es ampliamente disponible y relativamente barato, la turba es un material orgánico estable que posee una gran cantidad de agua y aire no se descompone rápidamente.

La turba es muy acida (pH 3,5 a 4,0) es comúnmente añadida caliza a la mezcla para equilibrar el pH. El color de turba más claro hace un mejor trabajo, de proporcionar el espacio aéreo, turba más oscura tiene pocos poros grandes. ⁽²⁾

Funciones del medio de cultivo

Crecimiento; mezclas utilizadas para producir cultivos de invernadero ofrece cuatro funciones (el orden no indica importancia). ⁽²⁾

1. Permitir el intercambio de gases (oxígeno, dióxido de carbono)
2. Retener el agua que está disponible para las plantas
3. Crear una reserva de nutrientes minerales
4. Proporcionar apoyo a la planta. ⁽²⁾

6.1.8.4 Vermiculita:

La vermiculita es un mineral formado por silicatos de hierro o magnesio del grupo de las micas. Se utiliza como sustrato en cultivos hidropónicos, como árido para elaborar hormigones de baja densidad, como aislante térmico y acústico, en extintores, como elemento filtrante, como protección de materiales o equipamientos frágiles, para aumentar la viscosidad de aceites lubricantes, como absorbente de humedad y otras contaminaciones líquidas y como excipiente en productos diversos, incluyendo medicamentos. ⁽²⁾

Al elevar rápidamente la temperatura de la vermiculita se genera una expansión conocida como exfoliación, resultando un producto utilizado como agregado liviano para construcción con propiedades aislantes térmicas y acústicas, además de ser químicamente inerte. ⁽²⁾

La vermiculita no es un nombre comercial, sino un término genérico para un mineral de la familia de la mica compuesto básicamente por silicatos de aluminio, magnesio y de hierro. Su forma natural es la de una mica de color pardo y estructura laminar, conteniendo agua ínter laminada. ⁽²⁾

Su característica principal es que al calentarla a una temperatura determinada, su capacidad de expansión o exfoliación produce que aumente de ocho a veinte veces su volumen original. Esta exfoliación se debe a la presencia de agua en el mineral crudo. ⁽²⁾

Cuando se calienta con rapidez por encima de 870°C a medida que el agua se evapora se va transformando cada partícula laminar del mineral en un fuelle a modo de gusano y crea un gran número de pequeñas láminas con reflejos metálicos de color pardo, con baja densidad aparente y elevada porosidad. ⁽²⁾

Es un material micáceo que se prepara en hornos, formando un ligero agregado. Vermiculita ofrece mucho espacio de aire en una mezcla. Vermiculita retiene agua y fertilizantes en las mezclas con sphagnum. También contiene calcio y magnesio, tiene pH neutro. ⁽²⁾

Los propágulos de diversas especies vegetales enraízan mejor en sustratos con partículas de vermiculita. Es un ingrediente inerte y es un medio excelente para la germinación de semillas. Este material mantiene por largo tiempo la humedad favoreciendo las condiciones de los materiales de propagación. ⁽²⁾

6.2 Marco referencial.

6.2.1 Localización y descripción de la sede de estudio.

6.2.1.1 Ubicación geográfica.

La estación experimental "Labor Ovalle" del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA), se encuentra ubicada en el municipio de Olinstepeque, Departamento de Quetzaltenango a 203.5 km. de la ciudad Capital, a 3.5 km. del departamento de Quetzaltenango y a 2 km. de la cabecera municipal de Olinstepeque. Se encuentra localizada en las coordenadas siguientes: Latitud Norte: 14°52'16" y Longitud Oeste: 91°30'52"

6.2.1.2 Extensión.

La estación experimental "Labor Ovalle" tiene una extensión territorial aproximada de 21.02 Ha, divididas en 7.81 Has para instalaciones y 13.21 Has. para campos de investigación y producción agrícola o pecuaria.

6.2.1.3 Vías de acceso.

Labor Ovalle cuenta con una vía de acceso, que la conduce al municipio de Olinstepeque, siendo esta la carretera Interamericana, que va también al municipio de San Carlos Sija. Esta vía de acceso se encuentra en buenas condiciones ya que es una carretera asfaltada la cual puede ser transitada sin ningún problema tanto en época seca como en época lluviosa.

6.2.2 Clima.

6.2.2.1 Altitud:

Según la estación meteorológica Labor Ovalle, la estación experimental, se encuentra a una altura de 2,454 metros sobre el nivel del mar, factor de vital importancia en el clima, teniendo predominancia de viento y baja temperatura en la época seca del año principalmente en los meses de noviembre y diciembre.

6.2.2.2 Temperatura:

La temperatura de la región varía dependiendo de la época del año, presentando una temperatura máxima de 22.2°C, una temperatura media de 15.1°C y una temperatura mínima de 6.8°C.

6.2.2.3 Precipitación pluvial:

La precipitación pluvial anual registrada varía de 2000 a 2500 mm distribuidos generalmente en los meses de abril a octubre.

6.2.2.4 Humedad relativa:

El rango de humedad relativa que se encuentra en la región de la estación experimental "Labor Ovalle", es de 70 a 75%.

6.2.2.5 Vientos:

El viento se presenta en dirección de norte a este con una velocidad promedio de 9.5 kilómetros / hora, siendo de moderados a fuertes.

6.2.2.6 Zona de vida:

La zona de vida de la región se clasifica como Bosque muy Húmedo Montano Bajo Subtropical.

6.2.2.7 Clasificación climática:

Las características climáticas son del tipo semi-frío, húmedo, con invierno benigno y seco.

6.2.3 Ámbito Institucional

La presente investigación fue ejecutada por la unidad de biotecnología del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA) Labor Ovalle, Quetzaltenango.

VII. OBJETIVOS

General:

1. Contribuir al desarrollo de tecnología del cultivo de la papa en Guatemala utilizando el Sistema Autotrófico Hidropónico –SAH–, en la producción de plántulas para obtener semilla básica.

Específicos:

1. Determinar el sustrato que proporcione el mayor porcentaje de sobrevivencia de plántulas de papa.
2. Evaluar el efecto de cinco sustratos sobre el crecimiento de plántulas de cinco variedades de papa.
3. Evaluar el efecto de cinco sustratos sobre el enraizamiento de plántulas de cinco variedades de papa.
4. Identificar la interacción entre sustrato y variedad que proporcione el mejor efecto sobre la producción de plántulas de papa.
5. Determinar el costo de producción de las plántulas de papa propagadas a través del Sistema Autotrófico Hidropónico –SAH–.

VIII. HIPÓTESIS

Ha.1: Al menos uno de los sustratos proporcionara las condiciones adecuadas para obtener un mayor porcentaje de sobrevivencia de plántulas de papa.

Ha.2: Al menos uno de los sustratos evaluados presentará diferencias significativas en cuanto al crecimiento de plántulas.

Ha.3: Al menos uno de los sustratos evaluados presentará diferencias significativas en cuanto al enraizamiento de plántulas.

Ha.4: Al menos una de las interacciones, proporcionara un mejor efecto sobre la producción de plántulas de papa.

Ha.5: El Sistema Autotrófico Hidropónico -SAH- será económicamente favorable.

IX. METODOLOGÍA Y MATERIALES

9.1 Material vegetal.

Para efectos de la presente investigación se utilizó material de papa de las variedades. Loman, Pehuenche, Frital, Pampeana y Calen.

Loman es una variedad guatemalteca, las demás variedades son materiales provenientes del INTA, Argentina.

9.2 Condiciones del cuarto de crecimiento.

- 1 Temperatura 25° C, + -2° C
- 2 Fotoperiodo 16 horas luz, 8 horas oscuridad
- 3 Intensidad lumínica 2000 lux

9.3 Sustratos.

1. Arena de río
2. Poma fina
3. Peat moss, fórmula con vermiculita al 5%
4. Arena + peat moss, 50% +50%
5. Poma + peat moss, 50% +50%

9.4 Incremento del material previo a realizar la evaluación de sustratos: Para obtener brotes, se colocaron los minitubérculos sanos en bolsitas de papel en un lugar fresco y oscuro, cuando los brotes alcanzaron más de 2 cm se cortaron.

9.5 Tratamiento de los brotes: Después de desbrotar los minitubérculos, se lavaron los brotes con agua jabonosa, sumergiéndolos en solución con Benomil, media cucharadita en 5 l de agua, los brotes largos se cortaron.

9.6 Producción de plántulas a través del Sistema Autotrófico Hidropónico – SAH–

9.6.1 Sustrato: Arena de río, poma fina, peat moss fórmula con vermiculita al 5%, arena + peat moss 50% + 50%, poma + peat moss 50% + 50%, materiales libre de patógenos, pasteurizado, se guardó en cajas plásticas, en lugar limpio y seco. Luego se cubrió la base de la caja de polipropileno, 4 cm con el sustrato a utilizar. Se regó con solución nutritiva y se dejó reposar 10 minutos hasta que se absorbiera. Antes de plantar se compactó con la mano el llenado de las cajas.

9.6.2 Contenedores: Cajas de polipropileno con tapa de 14 x 10 x 4 cm, las tapas se perforaron, haciendo tres orificios en cada extremo para permitir el intercambio gaseoso.

9.6.3 Solución nutritiva: Las soluciones nutritivas hidropónicas, contienen los macros y micros nutrientes que la planta requiere. Estas soluciones fueron

utilizadas para humedecer los sustratos y regar las cajas cuando fue necesario. Se preparo en dos soluciones separadas, A y B.

9.6.3.1 Solución A: Se disolvieron las sales A en 30 litros de agua, se ajusto el pH a 5.5 con ácido nítrico, 200 a 400 ml aproximados, al 2.5%

9.6.3.2 Solución B: Se disolvieron las sales B en 30 litros de agua, se agrego hierro, 1ml de hierro Percomplex o Fe MS, se ajusto el pH con ácido nítrico al 2.5%, 200 a 400 ml aproximados. Para regar las cajas, se mezclo medio litro de A con medio litro de B. solo se mezclo antes de humedecer los sustratos y regar, no se puede guardar como mezcla.

9.6.4 Preparación de las soluciones nutritivas: Se prepararon en dos soluciones separadas, A y B

9.6.4.1 Solución A: Pesar

Nitrato de calcio $(\text{NO}_3)_2\text{Ca}$ → 35.4 gr.

Se disolvió en 30 litros de agua, se ajusto el pH a 5.7 con ácido nítrico (5%).

9.6.4.2 Solución B: Pesar

Nitrato de potasio NO_3K	→	15,15 gr.
Fosfato monopotásico $\text{K}_2\text{H PO}_4$	→	4,08 gr.
Sulfato de magnesio SO_4MG	→	14,79 gr.
Micronutrientes combinados (*)	→	0,030 gr.
Agregar hierro quelatado (**)	→	150 ml.

Se disolvió en 30 litros de agua, se ajusto el pH a 5.7 con ácido nítrico (5%).

<u>1* combinación de micronutrientes</u>	Pesar
Sulfato de cobre -----	5 gr.
Sulfato de zinc -----	5 gr.
Ácido bórico -----	13 gr.
Sulfato de manganeso -----	15 gr.
Sulfato de hierro -----	19 gr.

Se Trituro en mortero hasta lograr una mezcla muy fina, se mezclo bien y fue guardado en envase cerrado. Se agrego 0,030 g en 30 litros de solución B.

2 Solución de hierro MS:** se peso 7,5 gr EDTA Na_2 que fue disuelto en 200 ml de agua destilada caliente, se dejo enfriar. Se peso 5,5 gr de sulfato de hierro, se disolvió en 200 ml de agua fría, todo se unió y fue llevado a un litro con agua destilada. Se guardo en botella de vidrio color caramelo. Se utilizaron 150 ml de Solución MS Hierro para 30 ml de solución B o 1 ml de Percomplex.

3 Solución de Ácido Nítrico para medir pH: Se miden 50 ml de ácido nítrico concentrado y se agrega agua hasta completar 1 litro (5%).

9.6.5 Preparación área de corte: Se preparo el desinfectante DG6, cloruro de lapirio al 1%, 5ml en 500ml de agua, tween 20, 3 gotas en ½ litro. Se desinfecto la mesa de trabajo, las pinzas y el bisturí. Se coloco papel sobre la mesa y se humedeció con el desinfectante.

9.6.6 De micropropagación (MT) a sistema autotrófico hidropónico –SAH–: Fue conveniente realizar una selección durante la micropropagación para obtener plántulas vigorosas y de buen tamaño de hoja. Se extrajo la plántula completa. Se coloco sobre papel húmedo esterilizado o desinfectado. Se realizo el corte de las plantas con bisturí obteniéndose esquejes, que tenían al menos una buena hoja. Se separaron en apicales, medios y basales. Estos últimos incluyendo parte de las raíces.

9.6.7 Plantación Se plantaron 28 esquejes por caja. Se mantuvieron separados los esquejes apicales, medios y basales para lograr uniformidad en el crecimiento en cada caja. Se realizo un pequeño hoyo en el sustrato con la pinza, se tomo el esqueje con la pinza y se planto, aplicando una leve presión.

9.6.8 Incubación: Se colocaron a 16 horas luz en cuarto de cultivo a 24 grados centígrados. A los 10 o 15 días estaban listas para volver a cortar.

9.6.9 Multiplicación de caja a caja: Se eligieron y separaron las cajas que tenían plántulas con tamaño para cortar. Las plántulas se cortaron con bisturí esterilizado, se dejo la parte basal, con yema y por lo menos una hoja para que rebrotara. Se obtuvieron esquejes que se dividieron por tamaño y se volvieron a plantar en cajitas por separado.

9.6.10 En el cuarto de cultivo: 16 horas luz a 24 grados centígrados, circulación de aire constante, revisión y podas diarias, distancia a luz de 22 cm. Las cajas se mantuvieron cerradas, y fueron abiertas 24 horas antes de cortar.

Las plántulas desarrolladas a partir de los esquejes apicales estuvieron listas para ser multiplicadas entre los 7 y 10 días desde su plantación. Aquellas que se desarrollaron a partir de esquejes medios de dos nudos o uninodales pudieron multiplicarse alrededor de los 15 días de su plantación, las plantas cortadas rebrotaron rápidamente.

9.6.11 Aclimatación: Cuando las plántulas tuvieron un buen sistema radicular y llegaron a tocar la tapa, las cajas se llevaron al invernadero. Se dejaron destapadas, a media sombra. Se rego para mantener húmedo el sustrato hasta el trasplante. Se dejo aclimatar durante 24 – 48 horas, previo a la plantación.

9.6.12 Materiales: Los materiales que se utilizaron en el estudio fueron:

a) Brotes de papa de la variedades:

- 1 Pehuenche
- 2 Calén
- 3 Frital
- 4 Pampeana
- 5 Loman

b) Sustratos

- 1 Arena
- 2 Poma fina
- 3 Peat moss
- 4 Arena + Peat moss
- 5 Poma + Peat moss

9.6.13 Compuestos químicos:

- 1 Agua jabonosa
- 2 Benomil
- 3 Desinfectante DG6, cloruro de Lapirio al 1%, 5ml en 500ml de agua.
- 4 Tween 20, 3 gotas en ½ litro.

9.6.14 Instrumentos:

- 1 Cajas de plástico transparente con tapa de 14 x 10 x 4 cm
- 2 Botella de vidrio color caramelo.
- 3 Pinza, bisturí, Bolsas
- 4 Papel húmedo
- 5 Tijeras
- 6 Regadera
- 7 Guantes
- 8 Mecheros

9.6.15 Equipo:

- 1 Computadora, impresora
- 2 Cuarto de cultivo

9.6.16 Solución nutritiva A y B: Solución nutritiva A y B las soluciones nutritivas contienen los macros y micros nutrientes que la planta requiere para su desarrollo, soluciones que fueron utilizadas para humedecer los sustratos y regar.

Solución A:

Nitrato de calcio $(\text{NO}_3)_2\text{Ca}$ \longrightarrow 35.4 gr.

Solución B:

Nitrato de potasio NO ₃ K	→	15,15 gr.
Fosfato monopotásico K ₂ H PO ₄	→	4,08 gr.
Sulfato de magnesio SO ₄ MG	→	14,79 gr.
Micronutrientes combinados (*)	→	0,030 gr.
Agregar hierro quelatado (**)	→	150 ml.

1* combinación de micronutrientes

	Pesar
Sulfato de cobre -----	5 gr.
Sulfato de zinc -----	5 gr.
Ácido bórico -----	13 gr.
Sulfato de manganeso -----	15 gr.
Sulfato de hierro -----	19 gr.

2 Solución de hierro MS:**

7,5 gr EDTA Na₂
200 ml de agua destilada caliente
5,5 gr de sulfato de hierro
200 ml de agua en frío
Un litro de agua destilada.

3 Solución de ácido nítrico para medir pH:

50 ml de ácido nítrico concentrado (5%).

X. VARIABLES Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN:

10.1 Independientes:

1. Sustratos
2. Variedades

10.2 Dependientes:

1. Porcentaje de sobrevivencia de plántulas.
2. Crecimiento de plántulas, dado a través de dos parámetros: La longitud de planta en cm. y el número de entrenudos.
3. Enraizamiento dado a través de dos parámetros: La longitud de raíz en cm. y el número de raíces.

El diseño experimental utilizado fue irrestricto al azar distribuido en parcelas divididas, 3 repeticiones por tratamiento. Unidad experimental, una bandeja, conteniendo 28 esquejes. Para efectos de la presente metodología se evaluaron los siguientes factores en diferentes niveles:

Niveles Factor	1ero.	2do.	3ero.	4to.	5to.
A. sustrato	Arena	Poma fina	Peat Moss	Arena + Peat Moss	Poma fina + Peat Moss
B. variedad	Pampeana	Calén	Pehuenche	Frital	Loman

Los tratamientos evaluados estuvieron compuestos por las combinaciones de los sustratos y variedades, por lo que se conto con un número de 25 tratamientos. Teniendo en cuenta que eran 25 tratamientos y 3 repeticiones por tratamiento, se conto con un total de 75 unidades experimentales.

A	I					II					III					IV					V				
B	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

Donde la parcela grande = Sustrato
Donde la parcela pequeña = Variedad

- A. Sustrato
- B. Variedad

1. Pehuenche,
2. Calén,
3. Frital
4. Pampeana
5. Loman

10.3 Modelo matemático del diseño experimental.

$$Y_{ijk} = M + A_i + E_i + B_s + E_s + AB_{ij} + E_{ij}$$

M: Media.

A_i: Efecto de los sustratos.

B_j: Efecto de las variedades.

E_i: Error asociado al factor A.

E_j: Error asociado al factor B.

E_{ij}: Error experimental.

AB_{ij}: Error asociado a la interacción.

10.4 Análisis de la información:

10.4.1 Estadístico: Se realizó un análisis de varianza, para interpretar los resultados del experimento y se estableció las diferencias entre tratamientos a través de prueba de medias de Tukey.

10.4.2 Transformación: Para las variables: porcentaje de sobrevivencia de plántulas (%), número de entrenudos y número de raíces, se realizó una transformación $\sqrt{X+1}$.

XI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

VARIABLE: PORCENTAJE DE SOBREVIVENCIA

Cuadro 1. Porcentaje de sobrevivencia obtenido de los sustratos y las variedades, de manera independiente en la evaluación de cinco sustratos, en la obtención de plántulas de cinco variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.), con el Sistema Autotrófico Hidropónico -SAH-

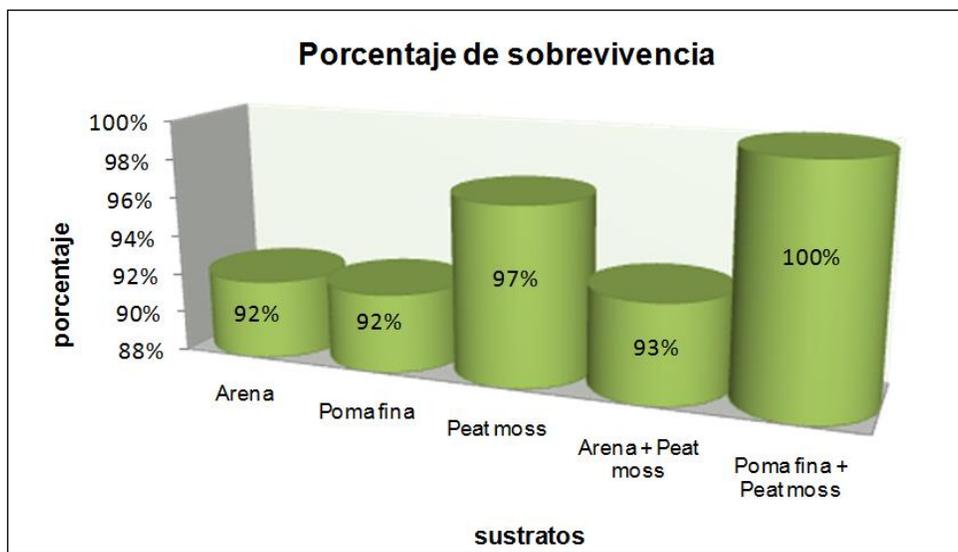
Sustratos		Variedades	
Arena	92 %	Pehuenche	95 %
Poma fina	92 %	Araucana	95 %
Peat moss	97 %	Frital	97 %
Arena + Peat moss	93 %	Pampeana	95 %
Poma fina + Peat moss	100 %	Loman	90 %

FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

El porcentaje de sobrevivencia para las plántulas de papa, a través del Sistema Autotrófico Hidropónico - SAH -, tal como lo muestra el cuadro y grafica 1, fue de 100 % en los tratamientos a base del sustrato poma fina + peat moss 50 % + 50%. Los tratamiento a base de peat moss reaccionaron positivamente con un 97 % de sobrevivencia, la combinación 50 % + 50 % de arena + peat moss reporto un 93 % de sobrevivencia, mientras que el menor porcentaje lo mostraron los tratamientos con arena y poma fina con un 92%.

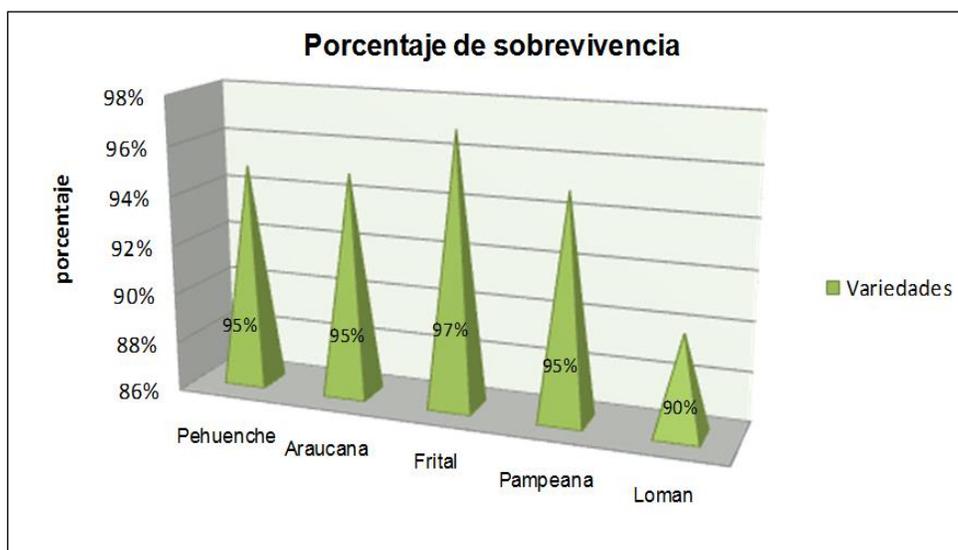
Cada una de las variedades utilizadas en la evaluación de los 5 sustratos, reaccionaron de la siguiente manera: la variedad Frital presento el mayor porcentaje de sobrevivencia alcanzando un 97 %, seguida por las variedades: Pehuenche, Araucana y Pampeana con un 95% para cada caso, en tanto la variedad Loman mostro el porcentaje de sobrevivencia mas bajo con un 90 %. Datos que se observan en el cuadro 1 y gráfica 2. El porcentaje de sobrevivencia tanto para sustratos como variedades es independiente una de otra, sin tomar en cuenta la interacción.

Grafica 1. Porcentaje de sobrevivencia, para la variable sustratos.



FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

Grafica 2. Porcentaje de sobrevivencia, para la variable variedades.



FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

Análisis de varianza para porcentaje de sobrevivencia de plántulas de papa.

El anexo 1, presenta el análisis de varianza, realizado a la variable porcentaje de sobrevivencia de plántulas de papa, utilizado para cuantificar la importancia de cada uno de los factores actuantes en la evaluación, determino que estadísticamente no existe diferencia significativa entre los diferentes sustratos, al igual que en las variedades y cada una de las interacciones sustrato – variedad, por lo que nos permite determinar que no importa el tipo de sustrato, variedad e interacción que se utilice, para la sobrevivencia de plántulas de papa, a través del

Sistema Autotrófico Hidropónico -SAH-. Por lo tanto para esta variable de respuesta se puede utilizar cualquiera de los tratamientos.

VARIABLE: CRECIMIENTO DE PLÁNTULA

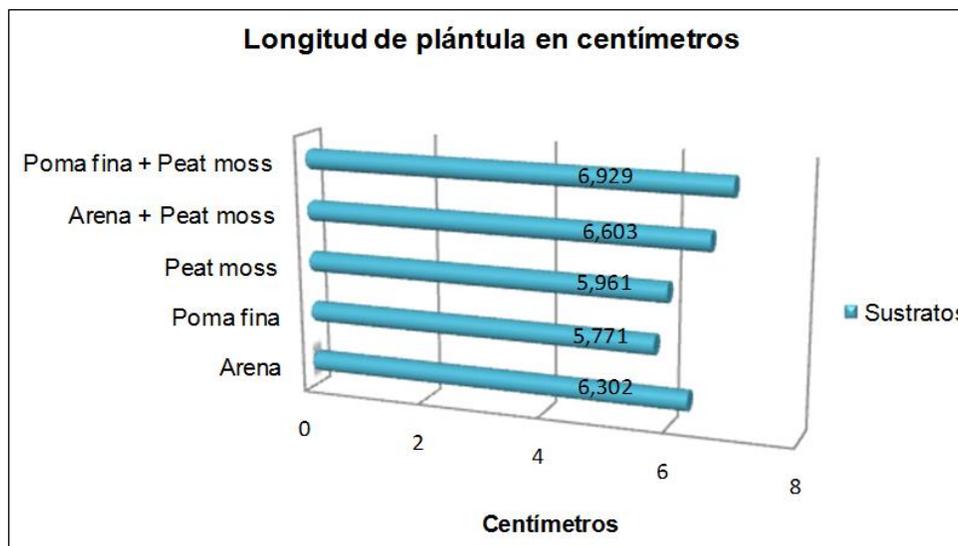
Cuadro 2. Longitud de plántula en centímetros, en la evaluación de cinco sustratos, en la obtención de plántulas de cinco variedades de papa (*Solanum tuberosum L.*), con el Sistema Autotrófico Hidropónico -SAH-

Sustratos		Variedades	
Arena	6.302 cm.	Pehuenche	7.863 cm.
Poma fina	5.771 cm.	Araucana	5.111 cm.
Peat moss	5.961 cm.	Frital	5.935 cm.
Arena + Peat moss	6.603 cm.	Pampena	7.003 cm.
Poma fina + Peat moss	6.929 cm.	Loman	5.654 cm.

FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

El efecto de cinco sustratos de manera independiente sobre el crecimiento de plántulas, dado a través del parámetro longitud de planta en centímetros, muestra que la media que presenta un mayor desarrollo es de 6.929 cm. en la combinación de poma fina + peat moss 50 % + 50%. El menor crecimiento es de 5.771 cm. con el sustrato a base de poma fina, teniendo una mínima diferencia de 0.531 cm. entre uno y otro.

Grafica 3. Longitud de plántula en centímetros obtenido de los sustratos, sin tomar en cuenta las variedades.

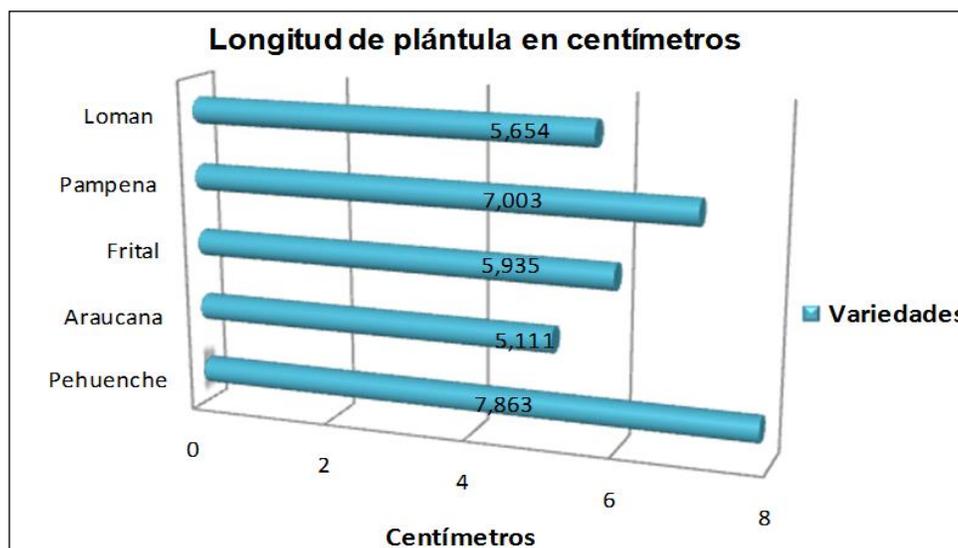


FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

De manera independiente el factor variedad, en el crecimiento de plántulas medido a través de centímetros, presenta el mayor crecimiento con la variedad Pehuenche, alcanzando los 7.863 cm de longitud. El menor desarrollo con la

variedad Araucana obteniendo una media de 5.111 cm. Estableciendo una diferencia de 2.752 cm entre una y otra variedad. Comportamiento que se observa en el cuadro 2 y grafica 4.

Grafica 4. Longitud de plántula en centímetros, obtenido de las variedades sin tomar en cuenta los sustratos.



FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

Análisis de varianza para longitud de plántula.

Para la variable crecimiento de plántula de papa medido a través de la longitud, en el caso de los 5 sustratos, representados en el cuadro de análisis de varianza presentado en anexo 2, no existe una diferencia estadística significativa entre uno y otro, por lo que se determina que no importa el tipo de sustrato que se utilice para el desarrollo de la plántula. Es decir que se puede hacer uso de cualquiera de los sustratos evaluados en el proceso – SAH- para tal efecto.

En el caso de las variedades representadas en anexo 2, presenta en la columna de probabilidad 0.0000 por lo que se determina que estadísticamente es altamente significativo, ya que es menor a 0.01, es decir que en el caso de las variedades, existe al menos una que presenta una diferencia altamente significativa, con respecto a las demás variedades evaluadas, en la variable de crecimiento de plántula a través de su longitud.

En el anexo 2, AB representa la interacción de sustratos y variedades, logrando determinar, que en el comportamiento de ambos factores no hay diferencia estadística, para la variable de longitud de plántula, por lo que cualquier combinación proporcionaría los mismos resultados para tal efecto, por lo tanto, el factor sustratos no interactúa con el factor variedades para la determinación de la longitud de planta, comportamiento que permite inferir que cada factor en estudio actúa independientemente.

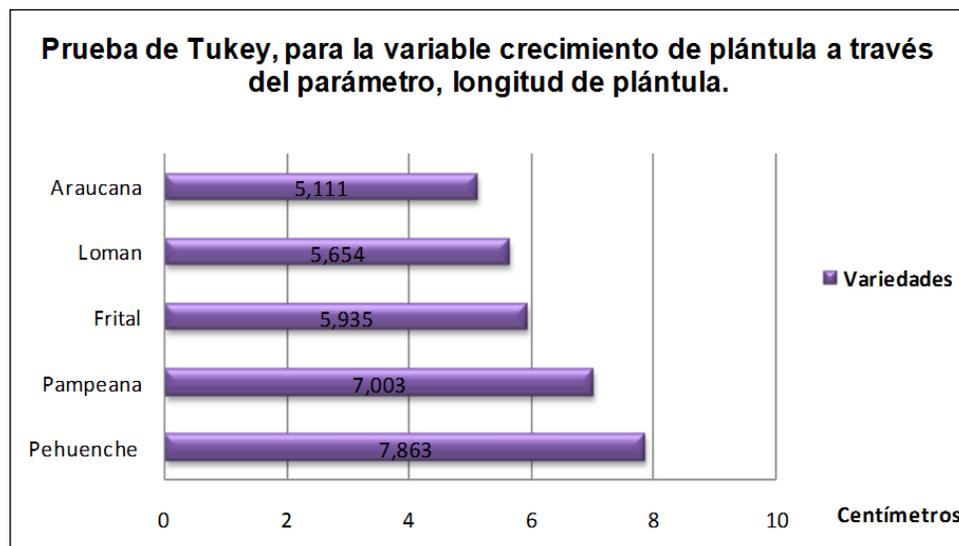
Cuadro 3. Prueba de Tukey para la variable crecimiento de plántula, a través del parámetro longitud de plántula dado en centímetros, para variedades.

Variedad	Promedio	Tukey
Pehuenche	7.863	A
Pampeana	7.003	AB
Frital	5.935	AB
Loman	5.654	AB
Araucana	5.111	B

Medias con igual letra, no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).
 FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

De acuerdo al análisis de varianza efectuado, se encontró diferencia estadística al 1%, para la variable longitud de plántula en el factor variedades, se realizó la prueba de discriminación de medias, a través de un análisis de Tukey que se presenta en el cuadro 3 y grafica 5, en el que se puede observar que la variedad Pehuenche, es estadísticamente superior a la variedad Araucana, y es estadísticamente igual a las variedades: Pampeana, Frital y Loman. Ratificando lo determinado en el cuadro 2, donde se demuestra una diferencia de 2.752 cm entre una y otra variedad.

Gráfica 5. Prueba de Tukey para la variable crecimiento de plántula, a través del parámetro longitud de plántula.



FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

VARIABLE: CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS

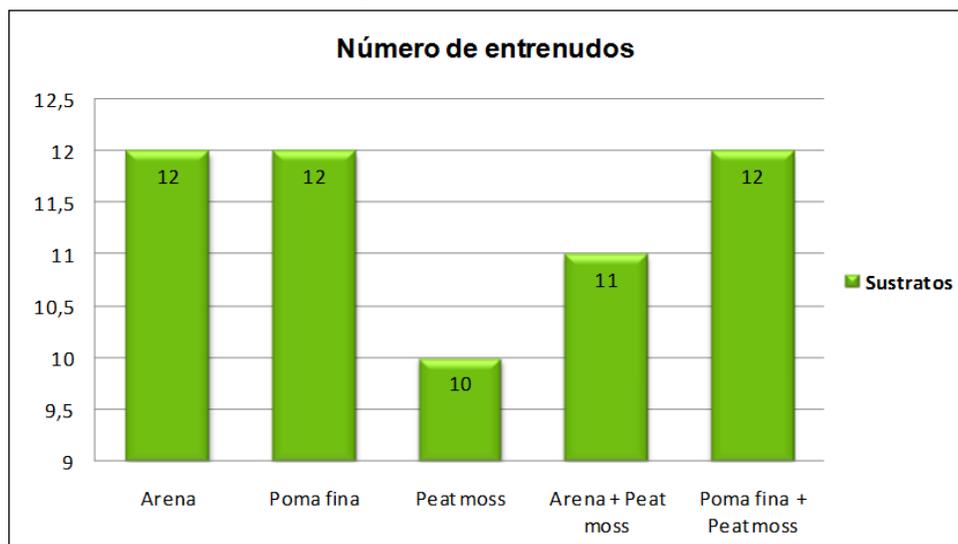
Cuadro 4. Número de entrenudos en la evaluación de cinco sustratos, en la obtención de plántulas de cinco variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.), con el Sistema Autotrófico Hidropónico -SAH-

Sustratos		Variedades	
Arena	12	Pehuenche	11
Poma fina	12	Araucana	11
Peat moss	10	Frital	12
Arena + peat moss	11	Pampeana	12
Poma fina + peat moss	12	Loman	11

FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

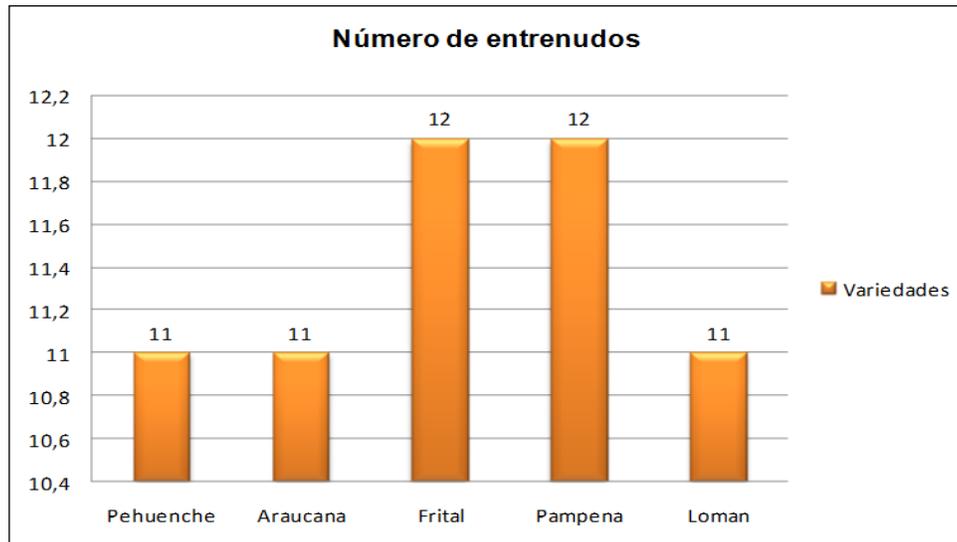
En el cuadro 4, se observa que el número de entrenudos referente a los 5 sustratos independientemente de las variedades, presento una cantidad de 12 entrenudos en las bandejas con los tratamientos a base de arena, poma fina y la combinación poma fina + peat moss 50 % + 50 %. La otra composición de 50 % + 50 % arena + peat moss reporto una media de 11 entrenudos, en tanto los tratamientos a base de peat moss fueron los que presentaron la menor cantidad de entrenudos siendo estos 10. En este mismo cuadro se puede observar que para las variedades: Frital y Pampeana, sin tomar en cuenta los sustratos donde fueron propagadas, ambas obtuvieron un promedio de 12 entrenudos. Tanto Pehuenche, Araucana y Loman alcanzaron una media de 11 entrenudos. Datos que pueden apreciarse en la gráfica 6 para los sustratos y en la gráfica 7 para las variedades.

Gráfica 6. Crecimiento de plántula a través del parámetro número de entrenudos, para sustratos.



FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

Gráfica 7. Crecimiento de plántula a través del parámetro número de entrenudos, para variedades.



FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

Análisis de varianza para el número de entrenudos de plántulas de papa.

De acuerdo al anexo 4, el análisis de varianza, efectuado a la variable de crecimiento de plántula de papa, dado a través del número de entrenudos, el cuadro indica que existió diferencia estadística significativa en lo relacionado con sustratos, ya que presenta en la columna de probabilidad 0.0150, es decir que en lo referente a los sustratos, existe al menos uno que presenta una diferencia significativa con respecto a los demás. También se observa que el número de entrenudos se ve influenciado por las variedades y por la interacción "AB" (sustrato-variedades), pues ambos casos mostraron diferencia altamente significativa, por tal razón se realizó la prueba de discriminación de medias, a través de un análisis de Tukey.

Cuadro 5. Prueba de Tukey para la variable crecimiento de plántula, a través del parámetro número de entrenudos. Resultados para las medias de valores en la interacción sustratos - variedad Pehuenche.

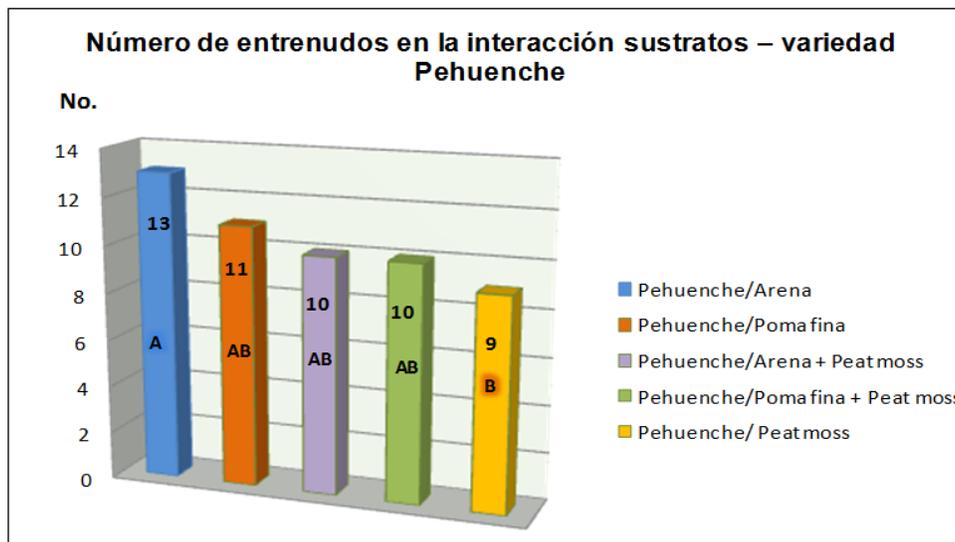
Interacción	Promedio	Tukey
Pehuenche/Arena	13	A
Pehuenche/Poma fina	11	AB
Pehuenche/Arena + Peat moss	10	AB
Pehuenche/Poma fina + Peat moss	10	AB
Pehuenche/ Peat moss	9	B

Medias con igual letra, no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

El efecto causado entre la variedad Pehuenche y los diferentes sustratos, se presentan en el cuadro 5 y gráfica 8, de la prueba de discriminación de medias, del análisis de Tukey, donde se observan 2 grupos, el grupo A que se determina como superior, que corresponde al tratamiento Pehuenche/Arena con un promedio de 13 entrenudos/plántula, que estadísticamente es igual a los conjuntos AB conformados por los tratamientos: Pehuenche/Poma fina, Pehuenche/Arena + Peat moss y Pehuenche/Poma fina + Peat moss con promedios de 11, 10, 10 entrenudos/plántula respectivamente, y el segundo grupo B Pehuenche/ Peat moss, muestra el menor número de entrenudos. Por lo que a través de los resultados obtenidos en el cuadro 5 y la discusión realizada, se considera que para la variedad de papa Pehuenche, cualquier sustrato se puede utilizar para su propagación, por el método del Sistema Autotrófico Hidropónico, con excepción del peat moss.

Gráfica 8. Número de entrenudos resultados para las medias de valores, en la interacción sustratos - variedad Pehuenche.



FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

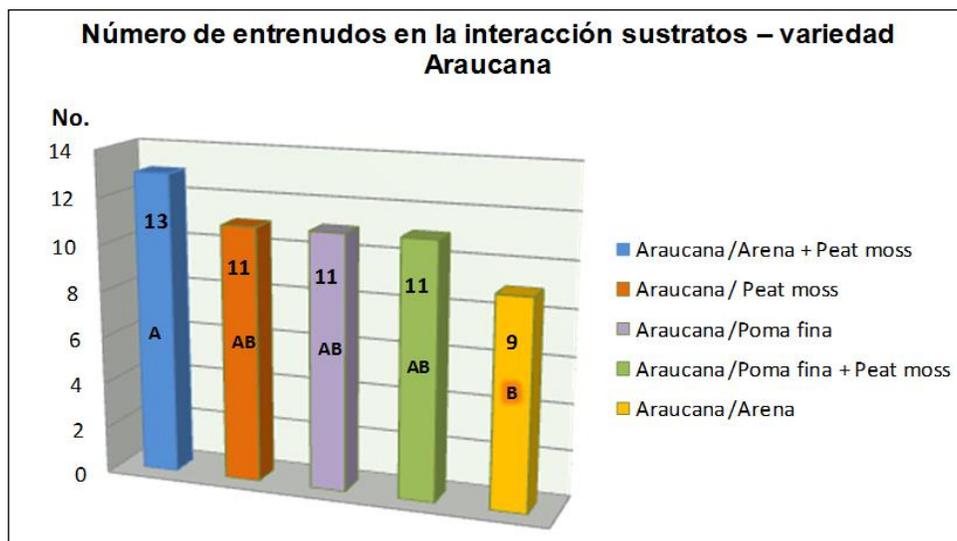
Cuadro 6. Prueba de Tukey para la variable crecimiento de plántula, a través del parámetro número de entrenudos. Resultados para las medias de valores en la interacción sustratos - variedad Araucana.

Interacción	Promedio	Tukey
Araucana /Arena + Peat moss	13	A
Araucana / Peat moss	11	AB
Araucana /Poma fina	11	AB
Araucana /Poma fina + Peat moss	11	AB
Araucana /Arena	9	B

Medias con igual letra, no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

Gráfica 9. Número de entrenudos. Resultados para las medias de valores en la interacción sustratos - variedad Araucana.



FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

En el cuadro y la gráfica anterior se observa que se separan dos grupos. El grupo A que corresponde a los tratamientos: Araucana /Arena + Peat moss, Araucana / Peat moss, Araucana /Poma fina y Araucana /Poma fina + Peat moss, muestran una media de 13, 11, 11, 11 entrenudos/plántula respectivamente. El grupo B conformado por el tratamiento Araucana /Arena con 9 entrenudos/plántula, es la interacción con menor cantidad. Es decir que para la variedad Araucana el mejor sustrato para obtener un mayor número de entrenudos es la combinación de 50% + 50% de Arena + Peat moss. Pero en caso de no contarse con estos materiales, puede utilizarse cualquiera de los evaluados del grupo A, ya que estadísticamente no difieren. A excepción de la interacción Araucana /Arena correspondiente al grupo B.

Cuadro 7. Prueba de Tukey para la variable crecimiento de plántula, a través del parámetro número de entrenudos. Resultados para las medias de valores en la interacción sustratos - variedad Frital.

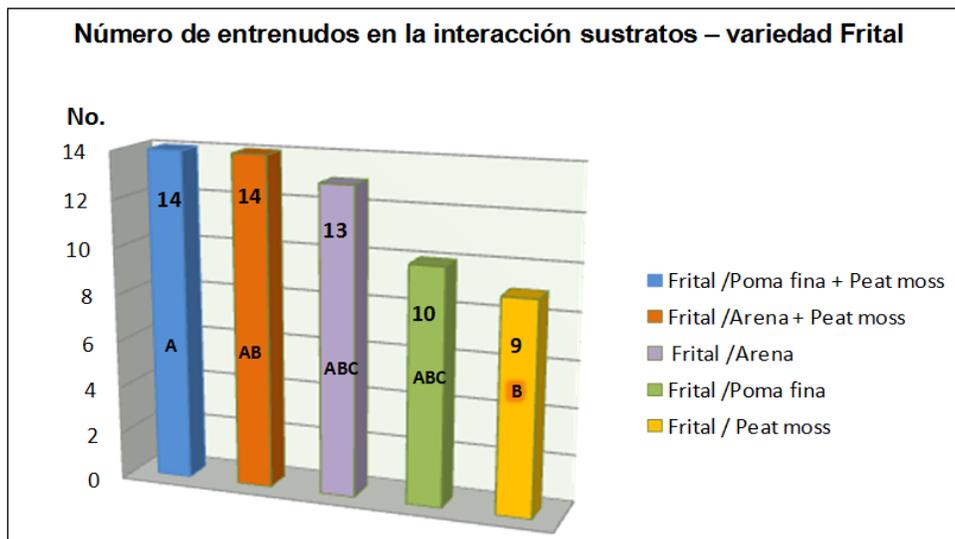
Interacción	Promedio	Tukey
Frital /Poma fina + Peat moss	14	A
Frital /Arena + Peat moss	14	AB
Frital /Arena	13	ABC
Frital /Poma fina	10	ABC
Frital / Peat moss	9	C

Medias con igual letra, no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

El resultado de la acción existente entre la variedad Frital y los diferentes sustratos, se presentan en el cuadro anterior y la gráfica siguiente, por medio de la prueba de Tukey, donde se observa el grupo C del tratamiento Frital / Peat moss, con 9 entrenudos/plántula siendo el grupo con menor cantidad, y el grupo A del tratamiento Frital /Poma fina + Peat moss con 14 entrenudos, observando una diferencia de 5 entrenudos entre ambos conjuntos, siendo este último grupo el superior para tal efecto, pero estadísticamente igual a los tratamientos Frital /Arena + Peat moss, Frital /Arena y Frital /Poma fina con 14, 13, 10 entrenudos/plántula respectivamente. Por lo que inferimos que cualquiera de los primeros 4 tratamientos nos daría el mismo efecto, para esta variable, y no se recomienda la propagación de la variedad Frital bajo el Sistema Autotrófico Hidropónico, utilizando el sustrato Peat moss.

Gráfica 10. Número de entrenudos resultados para las medias de valores, en la interacción sustratos - variedad Frital.



FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

Cuadro 8. Prueba de Tukey para la variable crecimiento de plántula, a través del parámetro número de entrenudos. Resultados para las medias de valores en la interacción sustratos - variedad Pampeana.

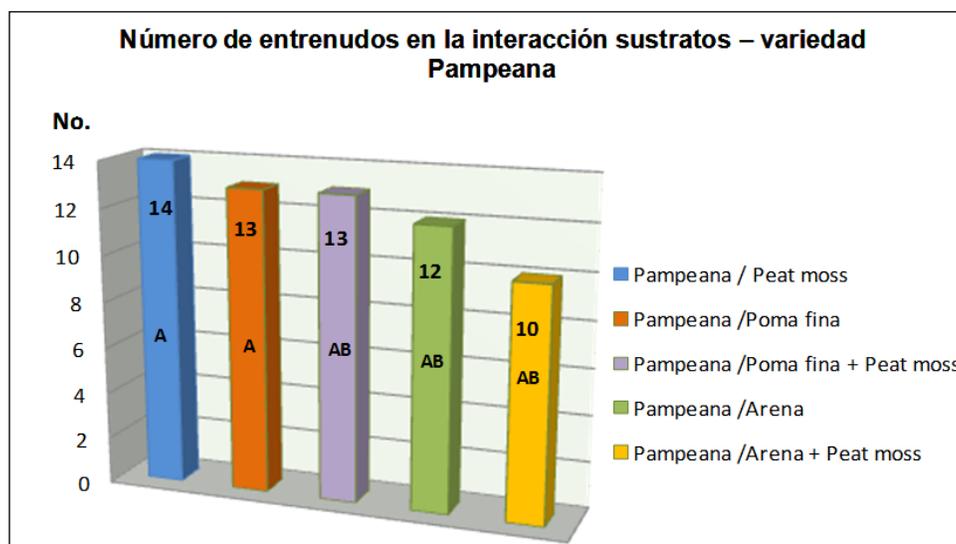
Interacción	Promedio	Tukey
Pampeana / Peat moss	14	A
Pampeana /Poma fina	13	A
Pampeana /Poma fina + Peat moss	13	AB
Pampeana /Arena	12	AB
Pampeana /Arena + Peat moss	10	AB

Medias con igual letra, no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

Los resultados presentados en el cuadro 8 y gráfica 11, se obtuvieron por la interacción de los factores, sustratos y variedad Pampeana, estos resultados demuestran el comportamiento referente a número de entrenudos, a través de la toma de datos, arrojando promedios equivalentes, que permiten determinar, que para obtener un mayor número de entrenudos para la variedad Pampeana, no existe una diferencia entre los sustratos a utilizar, es decir que para tal efecto todos los tratamientos son iguales, por lo que estadísticamente se recomienda cualquiera de ellos.

Gráfica 11. Número de entrenudos resultados para las medias de valores, en la interacción sustratos - variedad Pampeana.



FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

Cuadro 9. Prueba de Tukey para la variable crecimiento de plántula, a través del parámetro número de entrenudos. Resultados para las medias de valores en la interacción sustratos - variedad Loman.

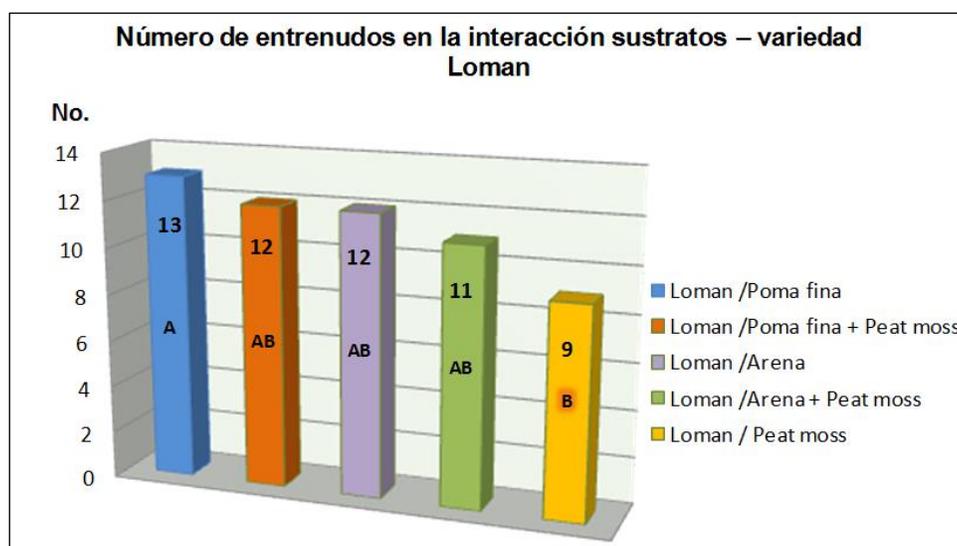
Interacción	Promedio	Tukey
Loman /Poma fina	13	A
Loman /Poma fina + Peat moss	12	AB
Loman /Arena	12	AB
Loman /Arena + Peat moss	11	AB
Loman / Peat moss	9	B

Medias con igual letra, no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

La prueba de medias realizada a la interacción sustratos con variedad Loman, permite seleccionar el mejor tratamiento, en el cuadro 9 se presenta los tratamientos ordenados, del mejor al peor, en relación al número de entrenudos. A través del cual podemos inferir que estadísticamente los primeros cuatro tratamientos son iguales, por lo que cualquiera de ellos nos brindaría el mismo resultado, sin embargo el tratamiento Loman/Peat moss nos proporcionaría menor número de entrenudos, siendo este el peor tratamiento, con 9 entrenudos/plántula. Estableciendo una diferencia de 4 entrenudos/plántula con el primero. Comportamiento que se puede observar en la siguiente gráfica.

Gráfica 12. Número de entrenudos resultados para las medias de valores, en la interacción sustratos - variedad Loman.



FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

VARIABLE: ENRAIZAMIENTO

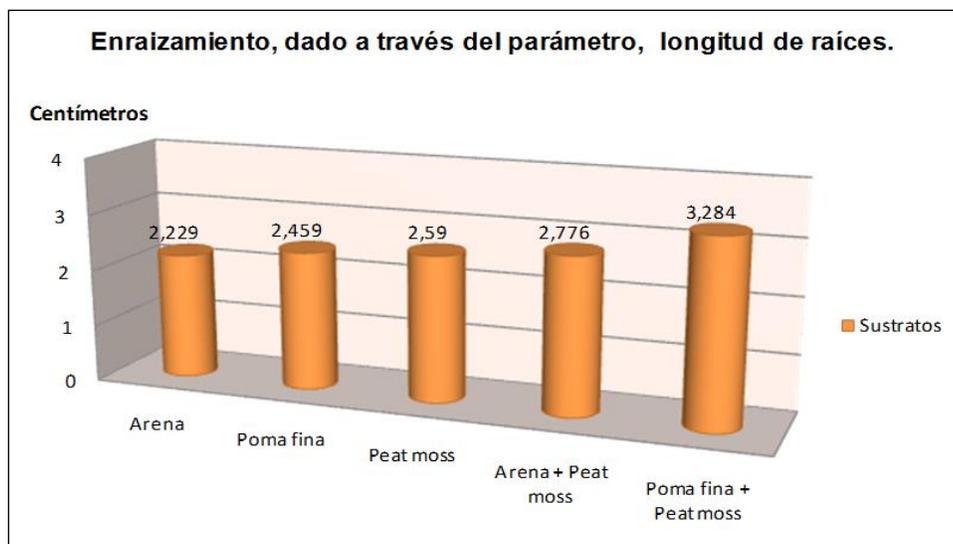
Cuadro 10. Enraizamiento dado a través del parámetro longitud de raíces, en la evaluación de cinco sustratos, en la obtención de plántulas de cinco variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.), con el Sistema Autotrófico Hidropónico -SAH-

Sustratos		Variedades	
Arena	2.229 cm.	Pehuenche	2.838 cm.
Poma fina	2.459 cm.	Araucana	2.665 cm.
Peat moss	2.590 cm.	Frital	2.650 cm.
Arena + Peat moss	2.776 cm.	Pampeana	3.137 cm.
Poma fina + Peat moss	3.284 cm.	Loman	2.048 cm.

FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

El efecto de cinco sustratos sobre enraizamiento de plántulas, dado a través del parámetro longitud de raíces en centímetros, la media que presenta un mayor desarrollo es de 3.284 cm. en la combinación 50 % + 50% de poma fina + peat moss. El menor incremento es de 2.229 cm. con el sustrato a base de arena, teniendo una diferencia de 1.055 cm. entre uno y otro, sin tomar en cuenta la variedad propagada. Datos que se corroboran en la gráfica 13.

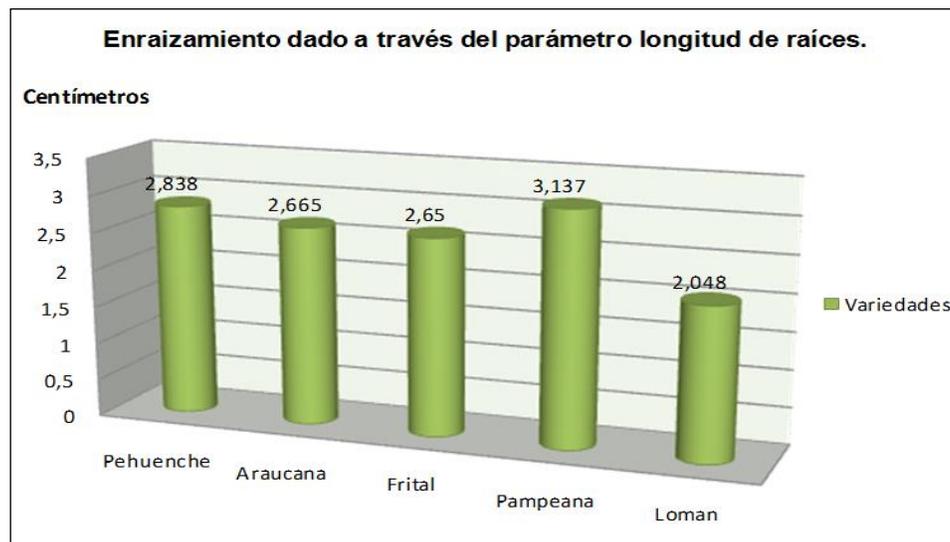
Gráfica 13. Enraizamiento dado a través del parámetro longitud de raíces, para sustratos



FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

En el factor variedad independientemente del sustrato el crecimiento de plántulas medido a través de centímetros, presenta el mayor incremento con la variedad Pehuenche, alcanzando los 2.838 cm de longitud. El menor desarrollo con la variedad Loman obteniendo 2.048 cm. Estableciendo una diferencia de 0.79 cm entre una y otra variedad, datos que pueden observarse en la grafica 14.

Gráfica 14. Enraizamiento dado a través del parámetro longitud de raíces, para variedades



FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

Análisis de varianza para longitud de raíces de plántulas de papa.

Según anexo 5, para la variable de enraizamiento de plántula de papa medido a través de la longitud de raíces, en el caso de los sustratos y de las variedades, representados en el cuadro de análisis de varianza, presentan en la columna de probabilidad 0.0001 y 0.0000 respectivamente, por lo que se determina que estadísticamente ambos son altamente significativos, es decir que tanto en los sustratos como en las variedades, existe al menos uno que presenta una diferencia de gran importancia para tal efecto.

AB representa la interacción de variedades y sustratos, en el que se logra determinar, que en el comportamiento de ambos factores existe diferencia significativa, al 0.1158 de probabilidad, para la variable enraizamiento a través de la longitud de raíz. Por tal razón se realizó la prueba de discriminación de medias, a través de un análisis de Tukey

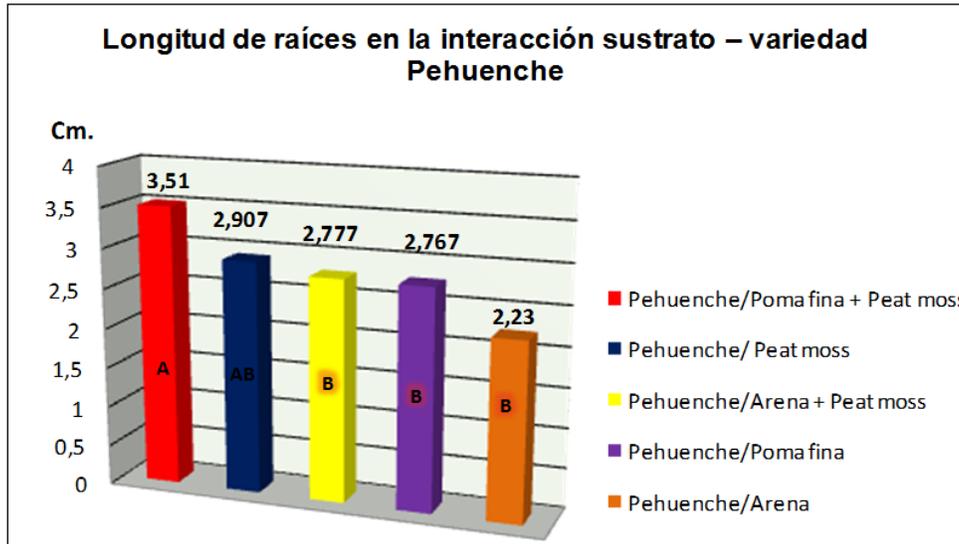
Cuadro 11. Prueba de Tukey para la variable enraizamiento, a través del parámetro longitud de raíces. Resultados para las medias de valores en la interacción sustratos - variedad Pehuenche.

Interacción	Promedio	Tukey
Pehuenche/Poma fina + Peat moss	3.510 cm.	A
Pehuenche/ Peat moss	2.907 cm.	AB
Pehuenche/Arena + Peat moss	2.777 cm.	B
Pehuenche/Poma fina	2.767 cm.	B
Pehuenche/Arena	2.230 cm.	B

Medias con igual letra, no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).
 FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

El resultado de la acción entre la variedad Pehuenche y los diferentes sustratos, se presentan en el cuadro 11 y grafica 15, de la prueba de discriminación de medias, del análisis de Tukey, donde se observan 2 grupos, el grupo A donde su mejor exponente es la combinación, Pehuenche/Poma fina + Peat moss, con 3.510 cm. que estadísticamente es superior al grupo B, que muestra el peor crecimiento con el tratamiento Pehuenche/Arena, con 2.230 cm. Resultado que nos permite determinar que para la obtención de una mayor longitud de raíces, la variedad Pehuenche requiere ser combinada con la mezcla 50% + 50% poma fina + peat moss, en caso de no contar con esta combinación, se recomienda la interacción entre Pehuenche/ Peat moss, que estadísticamente no difieren.

Gráfica 15. Enraizamiento resultados para las medias de valores, en la interacción sustratos - variedad Pehuenche.



FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

Cuadro 12. Prueba de Tukey para la variable enraizamiento, a través del parámetro longitud de raíces. Resultados para las medias de valores en la interacción sustratos - variedad Araucana.

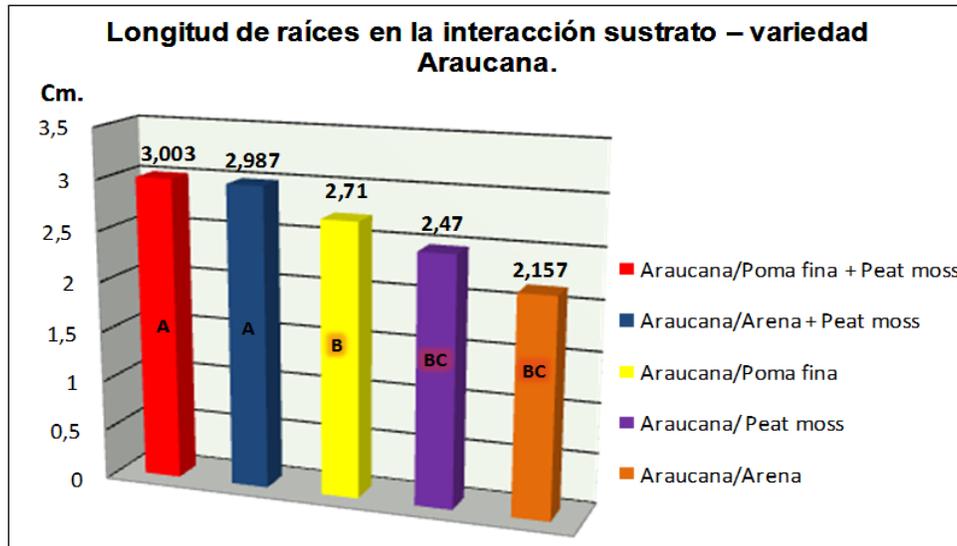
Interacción	Promedio	Tukey
Araucana/Poma fina + Peat moss	3.003 cm.	A
Araucana/Arena + Peat moss	2.987 cm.	A
Araucana/Poma fina	2.710 cm.	B
Araucana/ Peat moss	2.470 cm.	BC
Araucana/Arena	2.157 cm.	BC

Medias con igual letra, no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

En el cuadro 12 y gráfica 16 se observa que existen los grupos A y B, donde el mejor tratamiento para una mayor longitud de raíces, en plántulas de papa de la variedad Araucana, corresponde a las interacciones entre: Araucana/Poma fina + Peat moss y Araucana/Arena + Peat moss, que muestran una media de 3.003 cm. y 2.987 cm. respectivamente.

Gráfica 16. Enraizamiento resultados para las medias de valores, en la interacción sustratos - variedad Araucana.



FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

Cuadro 13. Prueba de Tukey para la variable enraizamiento, a través del parámetro longitud de raíces. Resultados para las medias de valores en la interacción sustratos - variedad Frital.

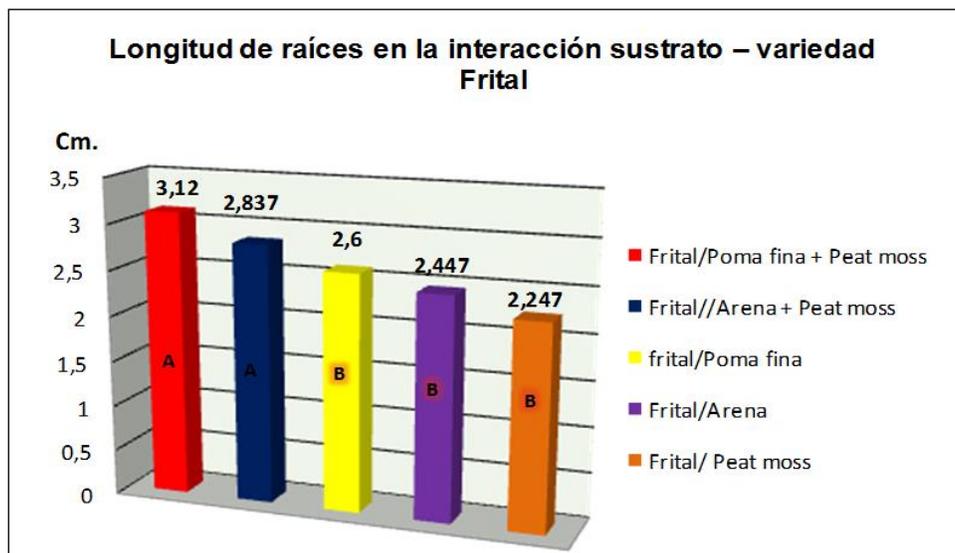
Interacción	Promedio	Tukey
Frital/Poma fina + Peat moss	3.120 cm.	A
Frital//Arena + Peat moss	2.837 cm.	A
frital/Poma fina	2.600 cm.	B
Frital/Arena	2.447 cm.	B
Frital/ Peat moss	2.247 cm.	B

Medias con igual letra, no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

En el cuadro 13 y gráfica 17, se presenta el comportamiento entre la variedad Frital y los diferentes sustratos de la evaluación, donde se observa la media del grupo B del tratamiento Frital / Peat moss, con 2.247 cm. de longitud de raíces, siendo el conjunto de menor crecimiento y el grupo A del tratamiento Frital /Poma fina + Peat moss con 3.120 cm. que corresponde a la mejor interacción y Frital /Arena + Peat moss con 2.837 cm. marcando una diferencia de 0.873 cm. entre el mejor y peor tratamiento. Por lo que inferimos que estadísticamente cualquiera de estas 2 ultimas combinaciones nos daría el mismo efecto, en cuanto a crecimiento de raíz en plántulas de papa de la variedad Frital.

Gráfica 17. Enraizamiento resultados para las medias de valores, en la interacción sustratos - variedad Frital.



FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

Cuadro 14. Prueba de Tukey para la variable enraizamiento, a través del parámetro longitud de raíces. Resultados para las medias de valores en la interacción sustratos - variedad Pampeana.

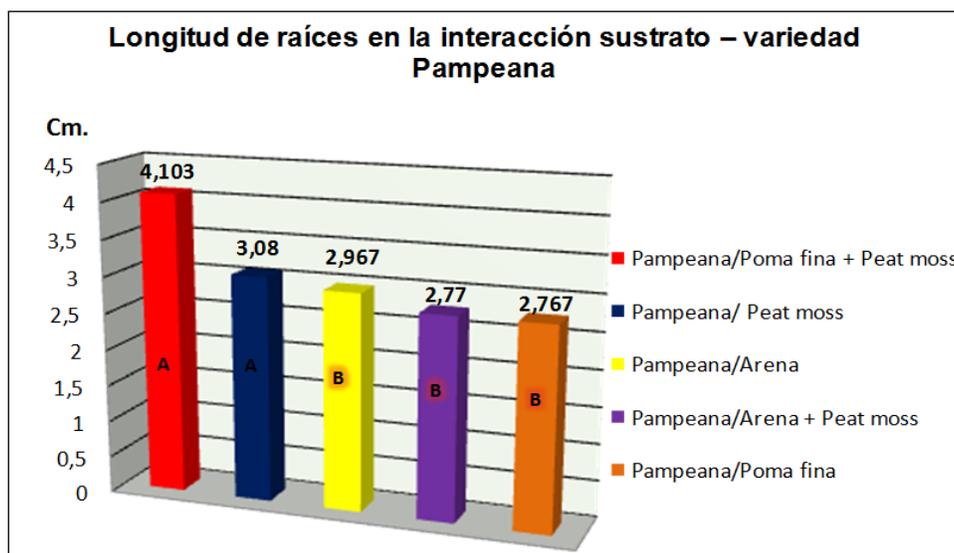
Interacción	Promedio	Tukey
Pampeana/Poma fina + Peat moss	4.103 cm.	A
Pampeana/ Peat moss	3.080 cm.	A
Pampeana/Arena	2.967 cm.	A
Pampeana/Arena + Peat moss	2.770 cm.	B
Pampeana/Poma fina	2.767 cm.	B

Medias con igual letra, no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012

El cuadro anterior y gráfica 18 se presentan los tratamientos ordenados del mayor al menor, por lo que las tres primeras combinaciones que son: Pampeana/Poma fina + Peat moss, Pampeana/ Peat moss y Pampeana/Arena, correspondientes al grupo A, estadísticamente son superiores al resto. Es decir que para la variedad Pampeana las mejores combinaciones, para obtener un mayor crecimiento de raíz son las que pertenecen al grupo A, y no se recomienda el uso de las interacciones del grupo B.

Gráfica 18. Enraizamiento resultados para las medias de valores, en la interacción sustratos - variedad Pampeana.



FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

Cuadro 15. Prueba de Tukey para la variable enraizamiento, a través del parámetro longitud de raíces. Resultados para las medias de valores en la interacción sustratos - variedad Loman.

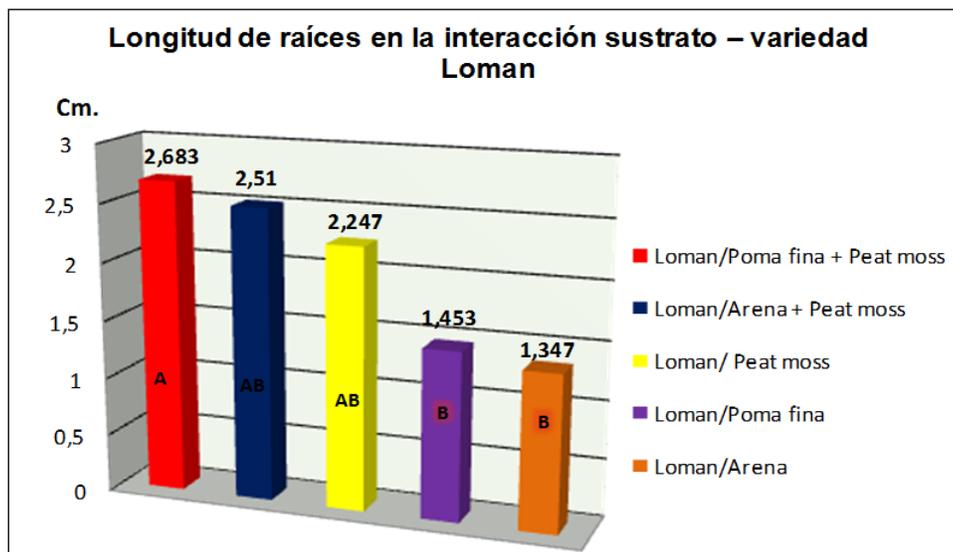
Interacción	Promedio	Tukey
Loman/Poma fina + Peat moss	2.683 cm.	A
Loman/Arena + Peat moss	2.510 cm.	AB
Loman/ Peat moss	2.247 cm.	AB
Loman/Poma fina	1.453 cm.	B
Loman/Arena	1.347 cm.	B

Medias con igual letra, no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

La información del cuadro anterior y de la gráfica siguiente, corresponde a los resultados de la prueba de discriminación de medias, a través de un análisis de Tukey, donde clasifica las medias, en cuanto al enraizamiento, a través del parámetro longitud de raíces, de la variedad Loman, resultados que nos permiten concluir, que para obtener plántulas de papa de esta variedad con mayor crecimiento en su zona radicular, el grupo A es estadísticamente igual, por lo que cualquiera de estas combinaciones nos proporcionaría los mejores resultados para tal efecto.

Gráfica 19. Enraizamiento resultados para las medias de valores, en la interacción sustratos - variedad Loman.



FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

VARIABLE: ENRAIZAMIENTO

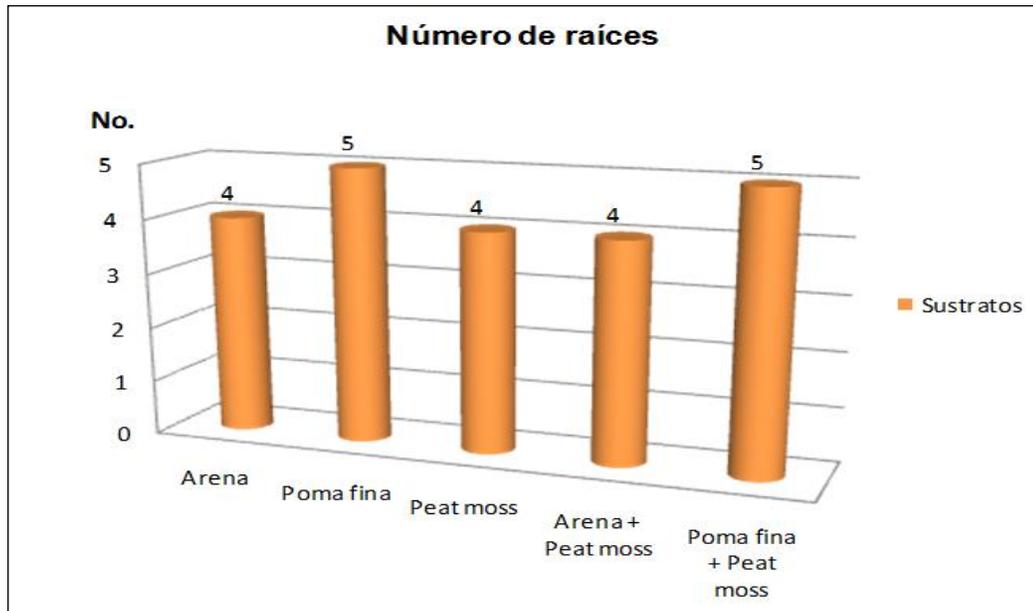
Cuadro 16. Enraizamiento dado a través del parámetro número de raíces, en la evaluación de cinco sustratos, en la obtención de plántulas de cinco variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.), con el Sistema Autotrófico Hidropónico -SAH-

Sustratos		Variedades	
Arena	4	Pehuenche	5
Poma fina	5	Araucana	4
Peat moss	4	Frital	4
Arena + Peat moss	4	Pampeana	5
Poma fina + Peat moss	5	Loman	4

FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

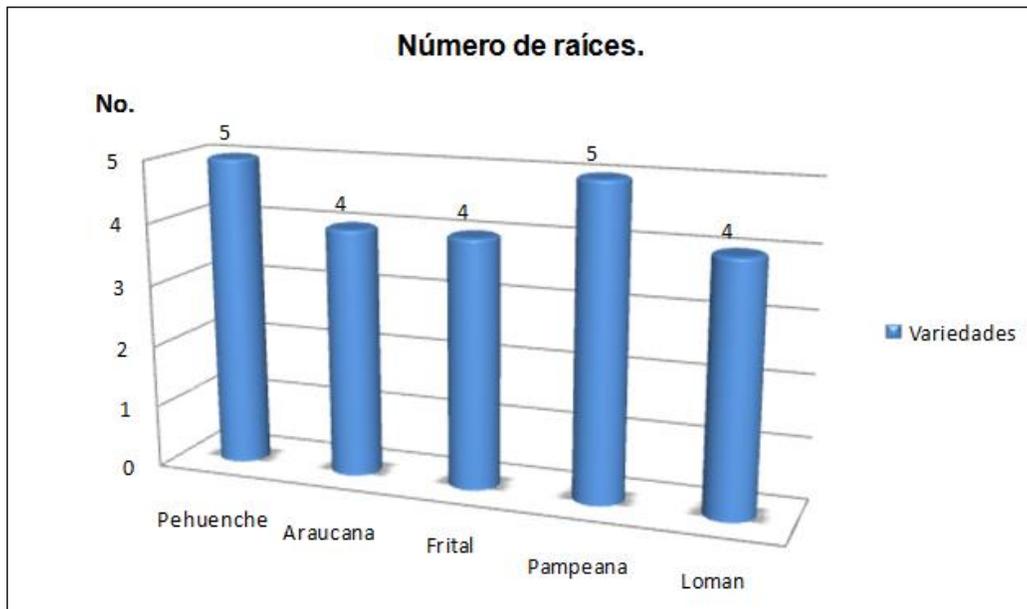
Los resultados que aparecen anteriormente, corresponden a la tabla de medias de sustratos y variedades de manera independiente, donde se observa que el número de raíces/plántula de sustratos, presento 5 raíces en las bandejas con los tratamientos a base de: Poma fina y la combinación poma fina + peat moss 50 % + 50 %. La otra composición de 50 % + 50 % arena + peat moss junto a los sustratos peat moss y arena alcanzaron una media de 4 raíces/plántula. En este mismo cuadro se puede observar que para las variedades: Pehuenche y Pampeana ambas obtuvieron un promedio de 5 raíces/plántula. Y tanto Araucana, Frital y Loman alcanzaron una media de 4 raíces/plántula. Datos que se aprecian en las gráficas 20 y 21.

Gráfica 20. Enraizamiento de plántula dado a través del parámetro número de raíces, para sustratos.



FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

Gráfica 21. Enraizamiento de plántula dado a través del parámetro número de raíces, para variedades.



FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

Análisis de varianza para número de raíces de plántulas de papa.

El anexo 6 presenta el cuadro de análisis de varianza que nos permite determinar que en lo referente a sustratos, no hay significancia entre los tratamientos, es decir que todos los sustratos son iguales en la obtención de número de raíces/plántula de papa, por lo que estadísticamente se recomienda cualquiera de ellos. Los datos que aparecen en el cuadro que corresponden a la interacción AB sustrato/variedad y variedades de acuerdo al análisis de varianza, indica que existen diferencias estadísticas altamente significativas en ambos casos, ya que presentan en la columna de probabilidad 0.0000 y 0.0008 respectivamente, esto significa que en al menos una de las variedades y de las interacciones hay diferencia estadística para tal efecto, por tal razón se realizó la prueba de discriminación de medias, a través de un análisis de Tukey.

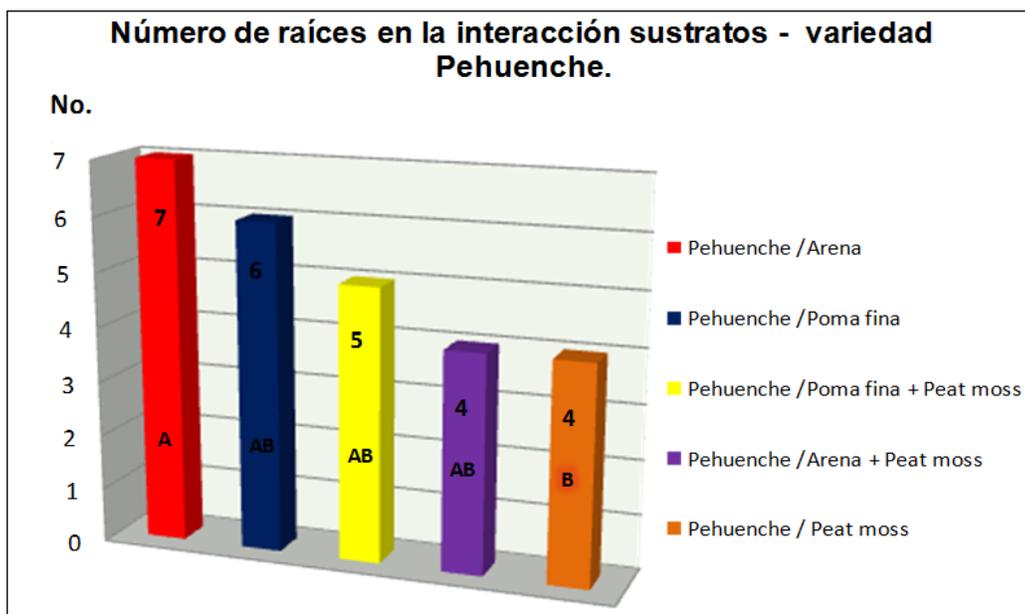
Cuadro 17. Prueba de Tukey para la variable enraizamiento, a través del parámetro número de raíces. Resultados para las medias de valores en la interacción sustratos - variedad Pehuenche.

Interacción	Promedio	Tukey
Pehuenche /Arena	7	A
Pehuenche /Poma fina	6	AB
Pehuenche /Poma fina + Peat moss	5	AB
Pehuenche /Arena + Peat moss	4	AB
Pehuenche / Peat moss	4	B

Medias con igual letra, no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).
FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

El efecto causado entre la variedad Pehuenche y los diferentes sustratos, se presentan en el cuadro 17, de la prueba de discriminación de medias, del análisis de Tukey, donde se observan 2 grupos, el grupo A que se determina como superior, en donde el tratamiento Pehuenche/Arena con un promedio de 7 raíces/plántula, es el máximo exponente del conjunto. Y el grupo B, conformado por la combinación Pehuenche / Peat moss con una media de 4 raíces/plántula, estableciendo una diferencia de 3 raíces/plántula, entre el primer y ultimo tratamiento. Resultado que nos permite concluir que para la obtención de una mayor cantidad de raíces, la variedad Pehuenche necesita ser propagada en los sustratos del grupo A. La gráfica 22 confirma los datos anteriores.

Gráfica 22. Enraizamiento resultados para las medias de valores, en la interacción sustratos - variedad Pehuenche.



FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

Cuadro 18. Prueba de Tukey para la variable enraizamiento, a través del parámetro número de raíces. Resultados para las medias de valores en la interacción sustratos - variedad Araucana.

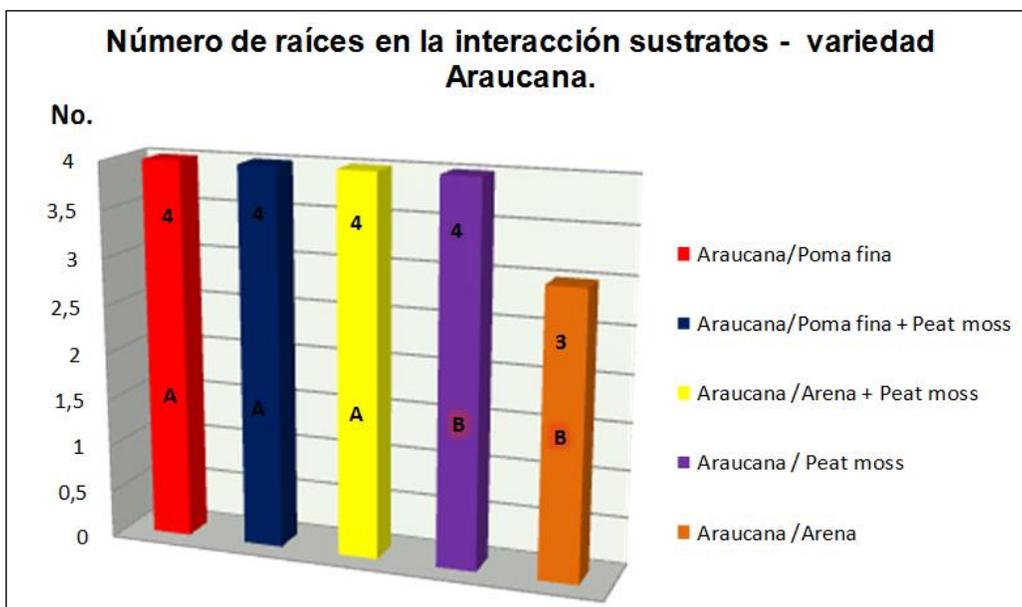
Interacción	Promedio	Tukey
Araucana/Poma fina	4	A
Araucana/Poma fina + Peat moss	4	A
Araucana /Arena + Peat moss	4	A
Araucana / Peat moss	4	B
Araucana /Arena	3	B

Medias con igual letra, no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

En el cuadro anterior y la gráfica 23 se observan dos grupos A y B, se determina al grupo A como superior debido a que los tratamiento evaluados a través del Sistema Autotrófico Hidropónico –SAH–, permitieron obtener una mayor cantidad de raíces, en plántulas de papa de la variedad Araucana, y no se recomienda la utilización de las interacciones del grupo B.

Gráfica 23. Enraizamiento resultados para las medias de valores, en la interacción sustratos - variedad Araucana.



FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

Cuadro 19. Prueba de Tukey para la variable enraizamiento, a través del parámetro número de raíces. Resultados para las medias de valores en la interacción sustratos - variedad Frital.

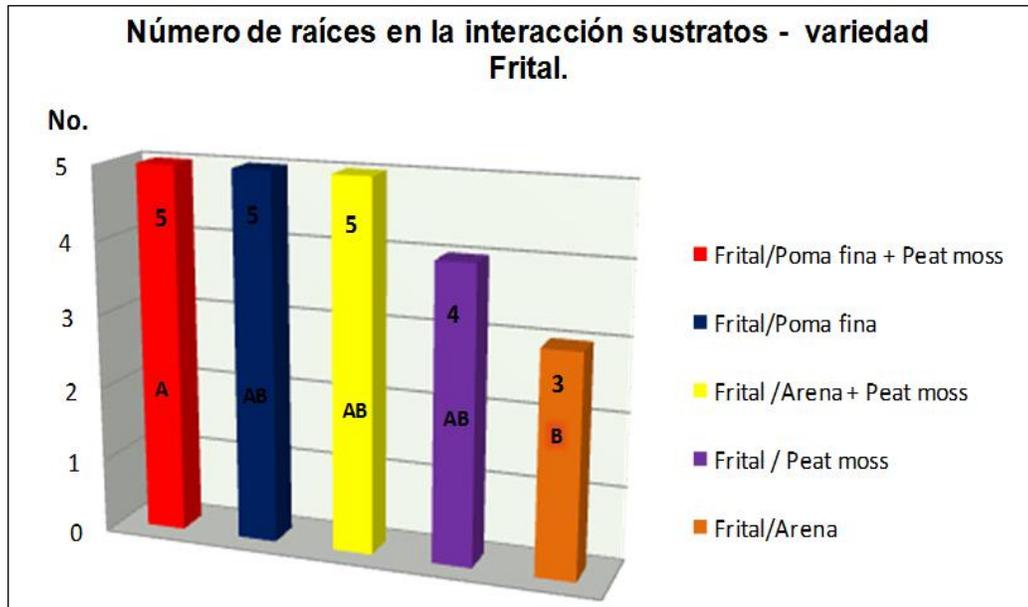
Interacción	Promedio	Tukey
Frital/Poma fina + Peat moss	5	A
Frital/Poma fina	5	AB
Frital /Arena + Peat moss	5	AB
Frital / Peat moss	4	AB
Frital/Arena	3	B

Medias con igual letra, no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

En el cuadro 19, vemos el resultado del comportamiento existente entre la variedad Frital y los diferentes sustratos de la evaluación, donde se observa el grupo B del tratamiento Frital/Arena, con 3 entrenudos/plántula siendo la combinación con menor cantidad, y el grupo A de los tratamiento Frital /Poma fina + Peat moss, Frital / Poma fina, Frital /Arena + Peat moss y Frital /Peat moss con promedios 5,5,5,4 raíces/plántula respectivamente, observando una diferencia de 2 raíces/plántula entre la primer y ultima interacción de la tabla. Por lo que inferimos que estadísticamente cualquiera de los primeros 4 tratamientos nos daría el mismo resultado, datos que se pueden observar en la gráfica 24.

Gráfica 24. Número de raíces. Resultados para las medias de valores en la interacción sustratos - variedad Frital.



FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

Cuadro 20. Prueba de Tukey para la variable enraizamiento, a través del parámetro número de raíces. Resultados para las medias de valores, en la interacción sustratos - variedad Pampeana.

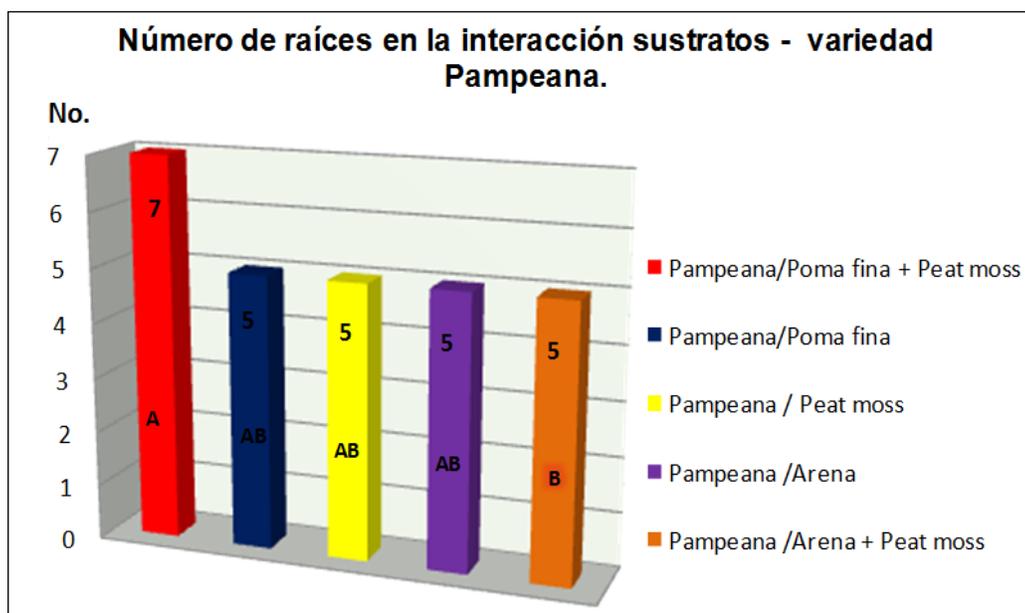
Interacción	Promedio	Tuckey
Pampeana/Poma fina + Peat moss	7	A
Pampeana/Poma fina	5	AB
Pampeana / Peat moss	5	AB
Pampeana /Arena	5	AB
Pampeana /Arena + Peat moss	5	B

Medias con igual letra, no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

El cuadro 20 presenta la interacción entre sustrato/ variedad Pampeana, donde se demuestra el comportamiento referente al número de raíces/plántula donde el grupo A se establece como superior, para obtener un mayor número de raíces en las plántulas de papa de la variedad Pampeana, por lo que estadísticamente se recomienda cualquiera de los primeros 4 tratamientos. Corroborando los datos anteriores se presenta la gráfica 25.

Gráfica 25. Enraizamiento resultados para las medias de valores, en la interacción sustratos - variedad Pampeana.



FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

Cuadro 21. Prueba de Tukey para la variable enraizamiento, a través del parámetro número de raíces. Resultados para las medias de valores en la interacción sustratos - variedad Loman.

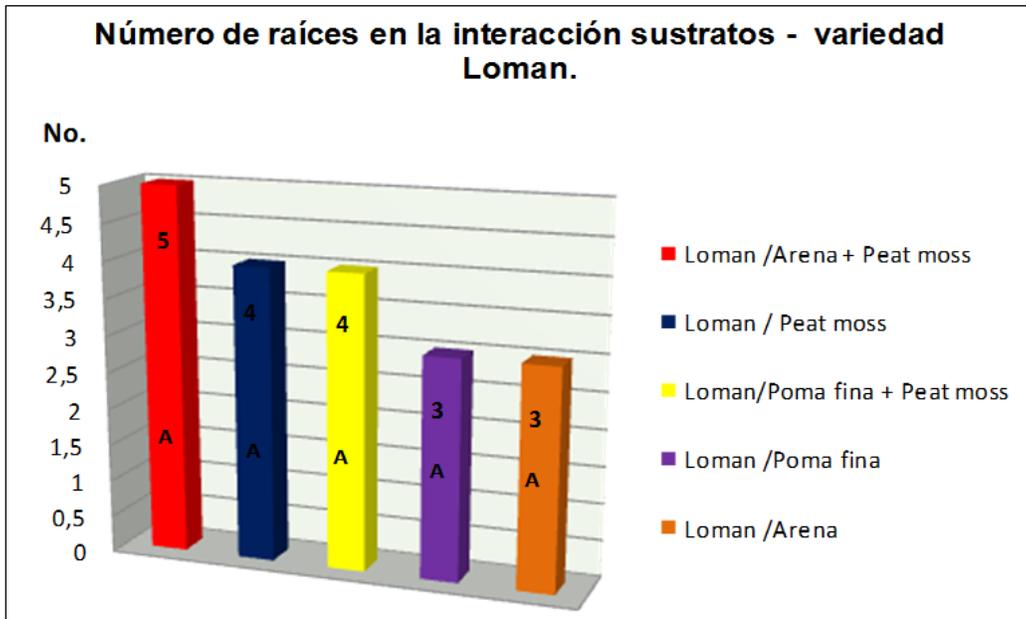
Interacción	Promedio	Tuckey
Loman /Arena + Peat moss	5	A
Loman / Peat moss	4	A
Loman/Poma fina + Peat moss	4	A
Loman /Poma fina	3	A
Loman /Arena	3	A

Medias con igual letra, no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

La prueba de medias realizada a la interacción sustratos con variedad Loman, permite seleccionar la mejor combinación, en el cuadro 21 aparecen los tratamientos, en relación al número de raíces/plántula. A través del cual podemos inferir que estadísticamente no existe diferencia significativa, debido a que solo existe el grupo A por lo que cualquiera de ellos nos brindaría el mismo resultado y se recomiendan para tal efecto, como también lo muestra la siguiente gráfica.

Gráfica 26. Enraizamiento resultados para las medias de valores, en la interacción sustratos - variedad Loman.



FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

**11.1 Costos de Producción de Plántulas de papa a través del Sistema Autotrófico Hidropónico –SAH-
Lote de producción: 2100 plantas**

Año: 2013

Duración del proyecto: 3 meses

Ubicación: ICTA-CIAL, "Labor Ovalle", Olinstepeque, Quetzaltenango.

Descripción	Número	Unidad	Valor	Sub-total	Costo
	Unidades	Medida	Unidad		Total
Costos Directos			Q.	Q.	Q.
Mano de obra					
Servicios personales					
Personal permanente	14	Horas	36,25	507,50	
IGSS Patronal			3,70	51,80	
FOPICTA			3,34	46,81	
Aguinaldo			2,89	40,46	
Bono 14			2,89	40,46	
Bono Vacacional			0,10	1,46	
Indemnizaciones			2,89	40,46	
Vacaciones			2,89	40,46	769,41
A Destajo					
Preparación de sustratos					
Cernido de sustratos	1,5	Horas	7,50	11,25	
Esterilización de sustratos	3	Horas	7,50	22,50	
Mezcla de sustratos	1	Horas	7,50	7,50	
Incremento del material previo a realizar evaluación de sustratos	1,5	Horas	7,50	11,25	
Producción de plántulas a través del –SAH-					
Preparación de contenedores (limpieza, desinfección , perforación y llenado de bandejas)	20	Horas	7,50	150,00	
Propagación	7	Horas	7,50	52,50	
Propagación	12	Horas	7,50	90,00	
Preparación de sales	2	Horas	7,50	15,00	
Preparación de solución nutritiva	2	Horas	7,50	15,00	
Preparación de area de corte	1	Horas	7,50	7,50	
Lavado de bandejas	2	Horas	7,50	15,00	

De Micro propagación a SAH (Tratamiento de brotes, corte y plantación)	50				
		Horas	7,50	375,00	
Traslado al cuarto de cultivo	7	Horas	7,50	52,50	
Riego					
Propagación	3	Horas	7,50	22,50	
Propagación	5	Horas	7,50	37,50	
Total mano de obra					885,00
Insumos					
Elementos y compuestos químicos					
Nitrato de calcio	32,56	gr.	1,00	32,56	
Nitrato de potasio	14,24	gr.	1,00	14,24	
Fosfato monopotásico	3,75	gr.	1,00	3,75	
Sulfato de magnesio	13,61	gr.	1,25	17,01	
Sulfato de cobre	0,35	gr.	2,49	0,87	
Sulfato de zinc	0,35	gr.	2,49	0,87	
Acido bórico	0,92	gr.	1,99	1,83	
Sulfato de manganeso	1,06	gr.	1,00	1,06	
Sulfato de hierro	1,35	gr.	1,99	2,69	
tween 20	2,12	ml.	1,00	2,12	
Acido Nítrico	85	ml.	0,26	22,10	
Acido Etilenediaminetetra-acético	6,37	gr.	1,50	9,56	
Cloruro de lapirio	8,49	ml.	0,30	2,55	
Alcohol Etilico 95%	170	ml.	0,04	6,80	
Alcohol Metílico 99%	106	ml.	0,05	5,62	
Alcohol Isopropílico 99%	106	ml.	0,07	7,00	
Sustratos					
Arena de río	0,5	m3	125,00	62,50	
Poma fina	0,5	m3	150,00	75,00	
Peat moss	0,5	Paquete	325,00	162,50	
Bandejas	100	Bandejas	2,00	200,00	
Total insumos					630,62
Servicios					
Energía Eléctrica				150,00	
Total servicios					150,00
Total costos Directos					2435,03
Costos Indirectos					
Mano de obra a destajo					
Limpieza de laboratorio	6	Horas	7,50		45,00

Materiales y suministros					
Papel	1	Rollo	16,00	16,00	
Guantes	2	pares	5,00	10,00	
Mascarillas	2	Unidades	3,50	7,00	
Desinfectante	1	Frasco	20,00	20,00	
Total materiales y suministros					53,00
Servicios					
Agua potable					9,00
Depreciaciones					
Beacker 100 ml	1	Unidad	40,00	0,08	
Beacker 400 ml	1	Unidad	46,00	0,08	
Agitador magnético	1	Unidad	1644,30	0,24	
Ph- metro	1	Unidad	1428,00	0,53	
Balanza	1	Unidad	4584,60	0,68	
Goteros	1	Unidad	5,00	0,00	
Bisturí	1	Unidad	6,00	0,00	
Magentas	3	Unidad	80,00	0,02	
Mechero	1	Unidad	37,00	0,01	
Pinzas	1	Unidad	44,00	0,02	
Botellas de vidrio	1	Unidad	85,00	0,03	
Probeta	1	Unidad	16,10	0,01	
Estante de metal	1	Unidad	1200,00	70,00	
Mesa	1	Unidad	300,00	4,00	
Pizetas de 500 ml	1	Unidades	5,00	0,06	
Beacker de vidrio de 1000 ml	2	Unidades	414,50	10,36	
Edificio de una planta	1	Unidades	32200,00	402,00	
Equipo de aire para ventilación	1	Unidades	375,00	5,00	
Lámparas de 2 x 20 color blanco	6	Unidades	55,00	4,13	497,25
Intereses					
Intereses 21%/C.D.					603,26
Gastos de Administración					
Gastos Admón. 10%/C.D.					287,26
Total costos indirectos					1494,77
Costo Total					3929,80
Costo Total					3929,80
Número de plantas producidas					2100
Costo por planta					1,87
Tipo de cambio Q. 7.81 por USA \$ 1.00					

11.1.1 Análisis económico en la determinación del costo de producción de plántulas de papa, propagadas a través del Sistema Autotrófico Hidropónico –SAH-

Para la obtención de costos de producción de plántulas de papa, a través del Sistema Autotrófico Hidropónico –SAH- se elaboro la base de datos que contiene los siguientes aspectos:

Costos directos: A través de mano de obra, en servicios personales en los que se incluyen: Personal permanente, IGSS patronal, FOPICTA, aguinaldo, bono 14, bono vacacional, indemnizaciones y vacaciones.

También mano de obra a destajo, que incluye las actividades siguientes: Preparación de sustratos, cernido de sustratos, esterilización de sustratos, mezcla de sustratos, incremento del material previo a realizar evaluación de sustratos, preparación de contenedores, propagación, preparación de sales, preparación de solución nutritiva, preparación de área de corte, lavado de bandejas, de micro propagación a SAH, traslado al cuarto de cultivo y riego, actividades que recibieron un valor económico.

A demás de los insumos que incluyen: Elementos y compuestos químicos, nitrato de calcio, nitrato de potasio, fosfato monopotasio, sulfato de magnesio, sulfato de cobre, sulfato de zinc, ácido bórico, sulfato de manganeso, sulfato de hierro, tween 20, ácido nítrico, ácido etilenediaminetetra-acético, cloruro de lapirio, alcohol etílico 95%, alcohol metílico 99%, alcohol isopropílico 99%, y bandejas; además de los servicios y sustratos que son: Arena, poma fina, peat moss. Estableciendo precios a través de cotizaciones.

En cuanto a costos directos en mano de obra, tanto para servicios personales con Q 769.41, como para destajo con Q. 885.00, así como los insumos con Q. 630.62 y servicios con un total de Q.150.00, asciende a un costo total directo de **2435,03** quetzales.

Para los costos indirectos donde se incluyen: mano de obra a destajo, con limpieza de laboratorio; los materiales y suministros que son: papel, guantes, mascarilla, desinfectante; y servicios.

También se incluyen las depreciaciones siguientes; Beacker (100, 400, 1000 ml.), Agitador magnético, pH-metro, balanza, goteros, bisturí, magentas, mechero, pinzas, botellas de vidrio, probetas, estante de metal, mesa, pizetas de 500 ml. edificio, equipo de aire para ventilación y lámparas; Además de intereses y gastos de administración.

En cuanto a costos indirectos en mano de obra a destajo con Q. 45.00, los materiales y suministros con Q. 53.00, servicios Q. 9.00, depreciaciones con Q. 497.25, intereses con Q. 603.26 y gastos de administración con Q. 287.26, la cantidad total fue de **1,494.77** quetzales.

Sumando costos directos e indirectos el monto total de producción es de **3,929.80** quetzales, para un lote de 2,100 plántulas de papa, con un costo unitario de **1.87** quetzales por planta.

11.2 SÍNTESIS DE RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE CINCO SUSTRATOS, EN LA OBTENCIÓN DE PLÁNTULAS DE CINCO VARIEDADES DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.), CON EL SISTEMA AUTOTRÓFICO HIDROPÓNICO (-SAH-) PARA LA PRODUCCIÓN DE SEMILLA BÁSICA.

Porcentaje de sobrevivencia: Según el análisis de varianza, para el porcentaje de sobrevivencia de plántulas de papa, a través del Sistema Autotrófico Hidropónico -SAH-, se determinó que estadísticamente no existe diferencia significativa, por lo que se infiere que no importa el tipo de sustrato, variedad e interacción, que se utilice para tal efecto, de tal manera que puede hacerse uso de cualquiera de los tratamientos y se obtendrá similar porcentaje de sobrevivencia.

Crecimiento de plántulas: El crecimiento de plántulas medido a través del parámetro longitud, según el análisis de varianza en el caso de los sustratos y la interacción no existe diferencia estadística significativa, por lo que se deduce que puede hacerse uso de cualquier sustrato e interacción para tal efecto, sin embargo en el caso de las variedades, presento diferencia estadística al 1%, por lo que se realizó la prueba de discriminación de medias, a través de un análisis de Tukey, que nos permitió concluir que la variedad Pehuenche con 7.863 cm. es estadísticamente superior en longitud de plántulas, cuando se propaga por medio del Sistema Autotrófico Hidropónico -SAH-

En la siguiente tabla se determina el mejor sustrato para cada variedad, que permite obtener la mejor interacción, en el crecimiento de plántula, dado a través del parámetro número de entrenudos.

Interacción Variedad/Sustrato	
Pehuenche/Arena	
Araucana /Arena + Peat moss	
Frital /Poma fina + Peat moss	
Pampeana / Peat moss	*
Loman /Poma fina	

FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

Enraizamiento: En la variable enraizamiento de plántula, dado a través del parámetro longitud de raíz, en la presente tabla, se muestran las mejores interacciones entre variedad y sustrato, de la evaluación.

Interacción Variedad/Sustrato	
Pehuenche/Poma fina + Peat moss	
Araucana/Poma fina + Peat moss	*
Frital/Poma fina + Peat moss	*
Pampeana/Poma fina + Peat moss	*
Loman/Poma fina + Peat moss	

FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

En la siguiente tabla se muestra el mejor sustrato para cada variedad que permite obtener la mejor interacción, en la obtención de un mayor número de raíces.

Interacción Variedad/Sustrato	
Pehuenche/Arena	
Araucana/Poma fina	*
Frital/Poma fina + Peat moss	
Pampeana/Poma fina + Peat moss	*
Loman/Arena + Peat moss	

FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

* En este caso según la prueba de Tukey, existen otras interacciones que estadísticamente son iguales, y que pueden ser utilizadas, en caso de no contar con las combinaciones de la tabla.

Interacción Variedad/Sustrato: Las interacciones entre variedad y sustrato que proporcionaron el mejor efecto, para la producción de plántulas de papa a través del Sistema Autotrófico Hidropónico –SAH–, se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro 22. Síntesis de resultados en la interacción Variedad/Sustrato, con el Sistema Autotrófico Hidropónico –SAH– para la producción de semilla básica.

Variedad	Porcentaje de sobrevivencia	Crecimiento de plántula	Enraizamiento	Crecimiento + enraizamiento
Pehuenche	Cualquiera	Arena	Arena	Pehuenche/ Arena
Araucana	Cualquiera	Arena + Peat moss	Poma fina + Peat moss	No se determino
Frital	Cualquiera	Poma fina + Peat moss	Poma fina + Peat moss	Frital / Poma fina + Peat moss
Pampeana	Cualquiera	Peat moss	Poma fina + Peat moss	No se determino
Loman	Cualquiera	Poma fina	Arena + Peat moss	No se determino

FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

Aspecto económico: En cuanto a costos directos en mano de obra, tanto para servicios personales con Q 769.41, como para destajo con Q. 885.00, así como los insumos con Q. 630.62 y servicios con un total de Q.150.00, en la producción de plántulas a través del Sistema Autotrófico Hidropónico (–SAH–) para la producción de semilla básica, asciende a un costo total directo de **2435,03** quetzales.

Para los costos indirectos, donde se incluye: mano de obra a destajo con Q. 45.00, los materiales y suministros con Q. 53.00, servicios Q. 9.00, depreciaciones con Q. 497.25, intereses con Q. 603.26 y gastos de administración con Q. 287.26, la cantidad total fue de **1494,77** quetzales. En la producción de plántulas a través del Sistema Autotrófico Hidropónico (–SAH–) para la producción de semilla básica. Sumando un monto total de producción de **3929.80** quetzales, para un lote de 2,100 plántulas de papa, a través del Sistema Autotrófico Hidropónico (–SAH–) para la producción de plántulas, con un costo unitario de **1.87** quetzales por planta.

XII. CONCLUSIONES

1. Los sustratos evaluados, crean las condiciones adecuadas, para la obtención de un alto porcentaje de sobrevivencia, en la producción de plántulas de papa, a través del Sistema Autotrófico Hidropónico (-SAH-), de tal manera que se acepta la hipótesis número 1.
2. La interacción sustrato variedad determino que las mejores combinaciones fueron: Sustrato arena con variedad Pehuenche; sustrato arena + peat moss (50% + 50%) con variedad Araucana; sustrato poma fina + peat moss (50% + 50%) con variedad Frital; sustrato peat moss con variedad Pampeana y sustrato poma fina con variedad Loman. Se acepta la hipótesis número 3 que establece que las variedades presentarían diferencia en el desarrollo de plántula.
3. Con respecto al enraizamiento de plántulas de papa, a través de la interacción variedad y sustrato determino que las combinaciones con mejores resultados fueron: Variedad Pehuenche con el sustrato arena; variedad Araucana con poma fina + peat moss (50% + 50%); variedad Frital con poma fina + peat moss (50% + 50%); variedad Pampeana con poma fina + peat moss (50% + 50%) y variedad Loman con arena + peat moss (50% + 50%). Aceptando la hipótesis número 2 en la que se establece que el enraizamiento fue afectado por los sustratos evaluados.
4. Las interacciones entre variedad y sustrato que proporcionaron el mejor efecto, para la producción de plántulas de papa a través del Sistema Autotrófico Hidropónico –SAH-, fueron las combinaciones siguientes: Variedad Pehuenche con el sustrato Arena y la variedad Frital con la combinación 50% + 50% de poma fina + Peat moss, ya que demostraron ser la mejor interacción tanto en porcentaje de sobrevivencia, crecimiento de plántula y enraizamiento. Para el caso de las variedades Araucana, Pampeana y Loman no existió uniformidad en los resultados obtenidos, para cada una de las variables estudiadas, por lo que no se pudo determinar un sustrato efectivo, con el que interactuaran para la producción de plántula. Aceptando la hipótesis número 4 en la que se establece que al menos una interacción Sustrato/Variedad proporcionaría un mejor resultado para la producción de plántulas de papa.
5. La producción de plántulas de papa, a través del Sistema Autotrófico Hidropónico -SAH-, es económicamente favorable, con un costo unitario de 1.87 quetzales por plántula. Por lo que se acepta la hipótesis 5.

XIII. RECOMENDACIONES

- 1.** Considerar esta investigación como base para aumentar la producción de plántulas de papa, a través del establecimiento de un nuevo sistema de propagación.
- 2.** Para la propagación de plántulas de papa, de la variedad Pehuenche, a través del sistema Autotrófico Hidropónico –SAH-, se recomienda la utilización del sustrato arena.
- 3.** Para la propagación de plántulas de papa, de la variedad Frital, a través del sistema Autotrófico Hidropónico –SAH-, se recomienda la utilización de la combinación 50% + 50% de Poma fina + Peat moss como sustrato.
- 4.** Para la propagación de las variedades Araucana, Pampeana y Loman, se recomienda continuar con las investigaciones, para establecer un sustrato, que proporcione el mejor efecto, tanto para porcentaje de sobrevivencia, como para crecimiento y enraizamiento de plántula.

XIV. BIBLIOGRAFÍA.

1. Benítez Jacqueline, Navarrete Javier. 2010. **Aplicación del Sistema Autotrófico Hidropónico (argentina) en variedades mejoradas del Ecuador para la obtención de semilla prebásica de papa.**
2. Búres, S. (1997). **Sustratos.** Agrotécnica. Madrid, España: 339 pp. Pp 10 – 12
3. **Evaluación de Recursos de Agua de Guatemala».** 2000. Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (Junio de 2000). Consultado el 22-02-2011.
4. Ezeta, F.N. 1991. **La competitividad en el cultivo de papa en Latinoamérica y el Caribe: Implicaciones y retos inmediatos.** Lima, Perú. Centro Internacional de la papa, CIP.
5. FAO. (1995). **La papa en la década de 1990. Situación y perspectivas de la economía de la papa a nivel mundial.** (Roma, Italia) 22 p.
6. Franco R.J. (2002). **El cultivo de la papa en Guatemala.** Guatemala. Primera edición.
7. INCAP. Estudios realizados por el Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá.
8. INTA. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 2002, Sistema de producción de plántulas de papa rustificadas para la obtención de semilla pre básica.
9. Jones, SB. s.f. Sistemática vegetal. Trad. Maria de Huescas. 2 ed. México, McGraw-Hill. 536p
10. Julio Kalazich. José Santos Rojas. Ingenieros Agrónomos . Principales variedades de papa INIA, Ficha 4,
11. MAGA (Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación, GT). 2002. Unidad de normas y regulaciones: sistema de vigilancia fitosanitaria. 2 ed. Guatemala. 45 p. (Documento 1, serie normativa).
12. Maraima Rosalba. 2009. **Producción de semilla de papa se realiza en Campo Experimental Mucuchíes en Mérida. FreshPlaza: Noticias del sector de frutas y verduras.** Venezuela.
13. Mejía, G. (2006) **Costos de producción de plántulas de papa in vitro.** Quetzaltenango, Guatemala. ICTA. 4p.
14. Paul y Anne Ehrlich. 2010. **EL CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN HUMANA** *'La explosión demográfica: El principal problema ecológico'*
15. Pérez, J. (ed.). (1998). **Propagación y mejora genética de plantas por biotecnología.** (volumen 1). Cuba: Instituto Biotecnología de las plantas.

16. *Susana Rigato, Adriana González y Marcelo Huarte.2002, **Producción de plántulas por Sistema Autotrófico Hidropónico (SAH): Producción de plántulas autotróficas por sistema hidropónico de alta sanidad, Balcarce, Buenos Aires, Argentina. (En línea).** Consultado el 24 de enero de 2011. Disponible en: [http:// INTA Balcarce - Grupo Papa - Sistema autotrófico hidropónico.mht](http://INTA Balcarce - Grupo Papa - Sistema autotrófico hidropónico.mht)*
17. *Susana Rigato, Adriana González y Marcelo Huarte.2002, **Producción de plántulas por Sistema Autotrófico Hidropónico (SAH): Beneficios del sistema. Producción de plántulas por Sistema Autotrófico Hidropónico (SAH), Balcarce, Buenos Aires, Argentina. (En línea).** Consultado el 24 de enero de 2011. Disponible en: [http:// INTA Balcarce - Grupo Papa - Sistema autotrófico hidropónico.mht](http://INTA Balcarce - Grupo Papa - Sistema autotrófico hidropónico.mht)*
18. *IV censo nacional agropecuario. 2003. Realizado por el Instituto Nacional de Estadística -INE-, para el año agrícola 2002-2003.*

XV. GLOSARIO

1. **Adventicio:** Designa a una estructura producida en una posición anormal o no común, como las yemas de cualquier otra parte distinta de las axilas de las hojas, las raíces producidas en los nudos de tallos de pastos, etcétera.
2. **Ápice:** Extremo terminal de un órgano.
3. **Asepsia:** Conjunto de métodos destinados a preservar de gérmenes infecciosos el material biológico, el instrumental y el equipo.
4. **Autotrófico:** Se dice de las propiedades y procesos de los organismos autótrofos considerados como tales.
5. **Autótrofo, fa.** (De *auto-* y *-trofo*). adj. *Biol.* Dicho de un organismo: Que es capaz de elaborar su propia materia orgánica a partir de sustancias inorgánicas; p. ej., las plantas clorofílicas.
6. **Bacteria:** Microorganismo unicelular procarionte, cuyas diversas especies causan las fermentaciones, enfermedades o putrefacción en los seres vivos o en las materias orgánicas.
7. **Brote:** Ápice aéreo vegetativo.
8. **Clon:** En general, grupo de organismos genéticamente idénticos debido a que han sido producidos por algún tipo de reproducción asexual. Población de células que desciende de una sola célula madre.
9. **Crecimiento:** Incremento en la masa (peso seco y/o tamaño) de un organismo que acompaña los procesos de desarrollo, diferenciación y morfogénesis. El crecimiento usualmente involucra división y expansión celular.
10. **Dependiente.** Que depende: Producirse o ser causado o condicionado por alguien o algo
11. **Diseño factorial** es aquél en el que se investigan todas las posibles combinaciones de los niveles de los factores en cada ensayo completo. En este caso se dicen que están cruzados, apareciendo el concepto de interacción.
12. **Esqueje:** Brote separado de una planta que se utiliza para su propagación.
13. **Hidroponía.** (De *hidro-* y un der. del gr. *πρόνοος*, labor). f. Cultivo de plantas en soluciones acuosas, por lo general con algún soporte de arena, grava, etc.
14. **Hongos:** Grupo diverso de organismos unicelulares o pluricelulares que se alimentan mediante la absorción directa de nutrientes.

15. **Independiente.** Que no tiene dependencia, que no depende de otro.
16. **Inoculación:** Transmisión de los organismos causantes de una enfermedad a un hospedero.
17. **Inoculo:** Pequeña cantidad de la sustancia que se inocula.
18. **In vitro:** Designa a los procesos biológicos o a las investigaciones que se realizan fuera de los organismos vivos, tradicionalmente en tubos de ensayo.
19. **Medio nutritivo:** Medio de cultivo empleado para iniciar, desarrollar o enraizar diferentes inóculos; esta formulado con macro y micro nutrientes, azúcar y reguladores de crecimiento.
20. **Meristemo apical:** Meristemo que se encuentra en el ápice de un brote o raíz.
21. **Micra:** Una millonésima de metro, una milésima de milímetro (Símb. *u*)
22. **Nanómetro:** Medida de longitud que equivale a la milmillonésima (10^{-9}) parte del metro. (Símb. *nm*).
23. **Patógeno:** Organismo que produce una enfermedad.
24. **Primordio:** grupo de células destinado a transformarse en una estructura particular, como lo es el primordio foliar, que va a dar origen a las hojas.
25. **Proliferación:** Crecimiento por multiplicación rápida de nuevas células.
26. **Sistema:**
27. **Sustrato.** m. Estrato que subyace a otro y sobre el cual puede influir. . Lugar que sirve de asiento a una planta o un animal
28. **Variable.** Que varía o puede variar. || 2 Magnitud cuyos valores están determinados por las leyes de probabilidad, como los puntos resultantes de la tirada de un dado.
29. **Variar.** Hacer que una cosa sea diferente en algo de lo que antes era. || 2. Dar variedad. || 3. intr. Dicho de una cosa: Cambiar de forma, propiedad o estado. || 4. Dicho de una cosa: Ser diferente de otra.

XVI. ANEXOS

Anexo 1.

Análisis de varianza para porcentaje de sobrevivencia de plántulas de papa.

Fuente	Grados de libertad	Sumatoria de cuadrados	Cuadrado medio	F. calculada	Probabilidad	Significancia
Sustrato	4	1.894	0.474	2.8876	0.0792	No significativo
Error	10	1.640	0.164			
Variedad	4	1.224	0.306	1.4145	0.2467	No significativo
Interacción AB	16	3.758	0.235	1.0856	0.3991	No significativo
Error	40	8.655	0.216			
Total	74	17.172				

Coeficiente de variación 4.78%

FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

Anexo 2.

Análisis de varianza para longitud de plántula.

Fuente	Grados de libertad	Sumatoria de cuadrados	Cuadrado medio	F. calculada	Probabilidad	Significancia
Sustrato	4	13.231	3.308	1.5978	0.2493	No significativo
Error	10	20.701	2.070			
Variedad	4	73.501	18.375	17.1758	0.0000	Altamente significativo
Interacción AB	16	30.448	1.903	1.7788	0.0704	No significativo
Error	40	42.794	1.070			
Total	74	180.675				

Coeficiente de variación 16.38%

FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

Anexo 3.

Descripción Prueba de Tukey, cuadro 3.

Error media de cuadrados = 1.070

Grados de libertad del error = 4

Número de observaciones para calcular la media = 15

La prueba de Tuckey, de la diferencia altamente significativa

(Desviación media) $\underline{s} = 0.2671$ Probabilidad = 0.010

x

Anexo 4.

Análisis de varianza para el número de entrenudos de plántulas de papa.

Fuente	Grados de libertad	Sumatoria de cuadrados	Cuadrado medio	F. calculada	Probabilidad	Significancia
Sustratos	4	0.668	0.167	5.2877	0.0150	Significativo
Error	10	0.316	0.032			
Variedades	4	0.745	0.186	4.9722	0.0024	Altamente significativo
Interacción AB	16	3.416	0.213	5.6989	0.0000	Altamente significativo
Error	40	1.498	0.037			
Total	74	6.644				

Coeficiente de variación 5.74%

FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

Anexo 5.

Análisis de varianza para, longitud de raíces de plántulas de papa.

fuentes	Grados de libertad	Sumatoria de cuadrados	Cuadrado medio	F. calculada	Probabilidad	Significancia
Sustrato	4	9.498	2.374	22.3127	0.0001	Altamente Significativo
Error	10	1.064	0.106			
variedad	4	9.509	2.377	14.5584	0.0000	Altamente significativo
Interacción AB	16	4.163	0.260	1.5934	0.1158	significativo
Error	40	6.531	0.163			
Total	74	30.764				

Coeficiente de variación 4.78%

FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

Anexo 6.

Análisis de varianza para número de raíces de plántulas de papa.

fuentes	Grados de libertad	Sumatoria de cuadrados	Cuadrado medio	F. calculada	Probabilidad	Significancia
Sustratos	4	0.314	0.078	3.0219	0.0711	No significativo
Error	10	0.259	0.026			
variedades	4	1.484	0.371	12.1396	0.0000	Altamente significativo
Interacción AB	16	1.668	0.104	3.4128	0.0008	Altamente significativo
Error	40	1.222	0.031			
Total	74	4.947				

Coeficiente de variación 8.25%

FUENTE: Investigación laboratorio de biotecnología ICTA, 2,012.

Anexo 7.

Prueba de Tuckey para la interacción Sustratos/Variedades, de la variable crecimiento de plántula a través del parámetro número de entrenudos. En la evaluación de cinco sustratos, en la obtención de plántulas de cinco variedades de papa (*solanum tuberosum L.*), con el Sistema Autotrófico Hidropónico (-SAH-).

Descripción Prueba de Tuckey

Error media de cuadrados = 0.03700

Grados de libertad del error = 40

Número de observaciones para calcular la media = 3

La prueba de tuckey, de la diferencia altamente significativa

Desviación media) $\underline{s} = 0.1111$ Probabilidad = 0.010

x

En el siguiente cuadro se pueden observar las interacciones entre 5 sustratos y 5 variedades de papa (*solanum tuberosum L.*), evaluadas en cajas de polipropileno, en cuarto de cultivo, que nos permitió establecer 3 grupos. El grupo A que presenta los tratamientos 23, 18, 14 (Frital /Poma fina + Peat moss, Frital /Arena + Peat moss, Pampeana/Peat moss) con un grado de superioridad, ya que poseen 14 entrenudos/plántula, aunque estadísticamente iguales a los 18 tratamientos siguientes, correspondientes a este mismo conjunto. El grupo B y C, (Pehuenche/ Peat moss, Araucana /Arena, Loman / Peat moss, Frital / Peat moss) son los tratamientos con menor cantidad de entrenudos, siendo 9 entrenudos/plántula, Marcando una diferencia de 5 entrenudos/plántula, entre la mejor y peor interacción de la tabla. Resultados que permiten inferir que el grupo A es la mejor combinación con base a número de entrenudos.

Interacción	Promedio	Tuckey
Frital/Poma fina + Peat moss	14	A
Frital /Arena + Peat moss	14	AB
Pampena / Peat moss	14	AB
Pehuenche/Arena	13	AB
Pampeana/Poma fina	13	AB
Frital/Arena	13	ABC
Pampena/Poma fina + Peat moss	13	ABC
Araucana /Arena + Peat moss	13	ABC
Loman /Poma fina	13	ABC
Loman/Poma fina + Peat moss	12	ABC
Pampena/Arena	12	ABC
Loman /Arena	12	ABC
Araucana / Peat moss	11	ABC
Araucana/Poma fina	11	ABC
Loman /Arena + Peat moss	11	ABC
Araucana/Poma fina + Peat moss	11	ABC
Pehuenche /Poma fina	11	ABC
Frital/Poma fina	10	ABC
Pampena /Arena + Peat moss	10	ABC
Pehuenche /Arena + Peat moss	10	ABC
Pehuenche /Poma fina + Peat moss	10	ABC
Pehuenche / Peat moss	9	BC
Araucana/Arena	9	BC
Loman / Peat moss	9	C
Frital / Peat moss	9	C

Medias con igual letra, no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

Anexo 8.

Prueba de Tuckey para la interacción Sustratos/Varietades, de la variable enraizamiento a través del parámetro longitud de raíces. En la evaluación de cinco sustratos, en la obtención de plántulas de cinco variedades de papa (*solanum tuberosum L.*), con el Sistema Autotrófico Hidropónico (-SAH-).

Descripción Prueba de Tuckey

Error media de cuadrados = 0.1630

Grados de libertad del error = 40

Número de observaciones para calcular la media = 3

La prueba de Tuckey, de la diferencia altamente significativa

(Desviación media) $\frac{s}{x} = 0.2331$ Probabilidad = 0.050

x

De acuerdo al análisis de varianza efectuado en el cuadro 15, como se encontró diferencia estadística al 5%, para la variable longitud de raíces, tanto en el factor A como en el B y en las interacciones Sustratos/variedades, se realizó la prueba de discriminación de medias, a través de un análisis de Tuckey, que se presenta en el cuadro 16, en el que podemos observar las medias de los tratamientos de papa (*solanum tuberosum L.*), evaluadas bajo el Sistema Autotrófico Hidropónico -SAH-, que nos permitió establecer 5 grupos.

El grupo A que presenta la combinación Pampeana /Poma fina + Peat moss con una media de 4.103 cm. interacción que alcanza el mayor crecimiento de raíz, aunque estadísticamente igual al resto del conjunto. El grupo B y C con longitudes que oscilan entre 2.777 y 2.157 cm. y finalmente los grupos D y E que corresponden a Loman/Poma fina, Loman /Arena, que son los tratamientos con menor crecimiento, siendo 1.453 y 1.347cm. respectivamente, marcando una diferencia de 2.756 cm. entre la mejor y peor interacción de la tabla. Resultados que permiten inferir que el grupo A es la mejor combinación, si lo que se pretende es obtener un mayor crecimiento de raíz en la plántula.

Interacción	Promedio	Tuckey
Pampena/Poma fina + Peat moss	4.103 cm.	A
Pehuenche/Poma fina + Peat moss	3.510 cm.	AB
Frital/Poma fina + Peat moss	3.120 cm.	ABC
Pampena// Peat moss	3.080 cm.	ABC
Araucana/Poma fina + Peat moss	3.003 cm.	ABC
Araucana/Arena + Peat moss	2.987 cm.	ABC
Pampeana/Arena	2.967 cm.	ABC
Pehuenche/ Peat moss	2.907 cm.	ABC
Frital//Arena + Peat moss	2.837 cm.	ABC
Pehuenche/Arena + Peat moss	2.777 cm.	BC
Pampeana/Arena + Peat moss	2.770 cm.	BCD
Pampena/Poma fina	2.767 cm.	BCD
Pehuenche/Poma fina	2.767 cm.	BCD
Araucana/Poma fina	2.710 cm.	BCD
Loman/Poma fina + Peat moss	2.683 cm.	BCD
frital/Poma fina	2.600 cm.	BCDE
Loman/Arena + Peat moss	2.510 cm.	BCDE
Araucana/ Peat moss	2.470 cm.	BCDE
Frital/Arena	2.447 cm.	BCDE
Frital/ Peat moss	2.247 cm.	BCDE
Loman/ Peat moss	2.247 cm.	BCDE
Pehuenche/Arena	2.230 cm.	BCDE
Araucana/Arena	2.157 cm.	CDE
Loman/Poma fina	1.453 cm.	DE
Loman/Arena	1.347 cm.	E

Medias con igual letra, no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

Anexo 9.

Prueba de Tuckey para la interacción Sustratos/Varietades, de la variable enraizamiento a través del parámetro número de raíces. En la evaluación de cinco sustratos, en la obtención de plántulas de cinco variedades de papa (*solanum tuberosum L.*), con el Sistema Autotrófico Hidropónico (-SAH-).

Descripción Prueba de Tuckey

Error media de cuadrados = 0.03100

Grados de libertad del error = 40

Número de observaciones para calcular la media = 3

La prueba de Tuckey, de la diferencia altamente significativa

(Desviación media) $\underline{s} = 0.1017$ Probabilidad = 0.010

x

En la prueba de discriminación de medias, a través del análisis de Tuckey, se encontró diferencia estadística al 1%, se obtuvieron los resultados que se presentan en el cuadro siguiente, donde se pueden observar las interacciones entre 5 sustratos y 5 variedades de papa (*solanum tuberosum L.*), evaluadas en cajas de polipropileno, en cuarto de cultivo, que nos permitió establecer 3 grupos. El grupo A que presenta la combinación Pehuenche /Arena con una media de 7 raíces/plántula, interacción que alcanzo el mayor número de raíces, aunque estadísticamente igual al resto del conjunto. El grupo B y C con longitudes que oscilan entre 4 y 3 raíces/plántula, que son los tratamientos con menor cantidad de raíces, marcando una diferencia de 3 raíces/plántula, entre la mejor y peor interacción de la tabla. Resultados que permiten inferir que el grupo A es la mejor combinación, si lo que se pretende es obtener un mayor número de raíces en la plántula de papa.

Interacción	Promedio	Tuckey
Pehuenche /Arena	7	A
Pampena/Poma fina + Peat moss	7	AB
Pehuenche /Poma fina	6	ABC
Pampeana/Poma fina	5	ABC
Pehuenche /Poma fina + Peat moss	5	ABC
Pampeana / Peat moss	5	ABC
Pampeana /Arena	5	ABC
Frital/Poma fina + Peat moss	5	ABC
Pampeana /Arena + Peat moss	5	ABC
Loman /Arena + Peat moss	5	ABC
Frital/Poma fina	5	ABC
Frital /Arena + Peat moss	5	ABC
Frital / Peat moss	4	ABC
Loman / Peat moss	4	ABC
Loman/Poma fina + Peat moss	4	ABC
Araucana/Poma fina	4	ABC
Pehuenche /Arena + Peat moss	4	ABC
Araucana/Poma fina + Peat moss	4	ABC
Araucana /Arena + Peat moss	4	ABC
Pehuenche / Peat moss	4	BC
Araucana / Peat moss	4	C
Frital/Arena	3	C
Loman /Poma fina	3	C
Araucana /Arena	3	C
Loman /Arena	3	C

Medias con igual letra, no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

Anexo 10.

Costos de producción de plántulas de papa In vitro actual

Lote de producción: 24,000 plantas

Año: 2008

Duración del proyecto: 5 meses

Ubicación: ICTA-CIAL, "Labor Ovalle", Olinstepeque, Quetzaltenango.

Descripción	Número	Unidad	Valor	Sub-total	Costo
	Unidades	Medida	Unidad		Total
Costos Directos			Q.	Q.	Q.
Mano de Obra					
Servicios Personales					
Personal Permanente	200	Horas	36.25	7250.00	
IGSS Patronal			0.1067	740.00	
FOPICTA			0.0964	668.77	
Aguinaldo			2.89	578.13	
Bono 14			2.89	578.13	
Bono Vacacional			0.1041	20.83	
Indemnizaciones			2.89	578.13	
Vacaciones			2.89	578.13	10992.35
A Destajo					
Preparación, distribución y esterilización de los medios de cultivo	40	Jornales	50.00	2000.00	2000.00
Cultivo In vitro: Aislamiento de meristemo	125	Jornales	50.00	5000.00	5000.00
Subcultivos, corte de microesquejes micropropagación					
Lavado y Esterilización de cristalería	20	Jornales	50.00	1500.00	
Transplante a sustrato y cuidados culturales en invernadero (adaptación de vitroplantas	20	Jornales	50.00	1000.00	2500.00
Total mano de obra					20492.35
Insumos					
Elementos y compuestos químicos				6000.00	
Productos Medicinales y Farmacéuticos				2800.00	8800.00
Kits de Elisa					
Fertilizantes				500.00	500.00
8 Bultos de PEATMOSS					
Total Insumos					9300.00
Servicios					
Energía Eléctrica				4000.00	

Total Servicios					4000.00
Total Costos Directos					33792.35
Costos Indirectos					
Mano de Obra a destajo					
Limpieza Laboratorio	10	Jornales	50.00	500.00	500.00
Materiales y suministros					
Productos de papel o cartón				200.00	
Útiles de Limpieza y productos sanitarios				300.00	
Útiles menores medico quirúrgicos y de laboratorio				500.00	1000.00
Útiles, accesorios y materiales eléctricos				200.00	
Papel de escritorio	1	Resma	35.00	35.00	
Servicios					
Agua Potable				100.00	100.00
Depreciaciones					
Frascos Gerber				14287.50	
Cajas de petri de vidrio 100x15 mm				43.23	
Erlenmeyer Pirex de 1000 ml				26.13	
Erlenmeyer Duran de vidrio 2000 ml				6.30	
Erlenmeyer de vidrio Duran 5000 ml				15.90	
Probetas Duran de vidrio de 25 ml				7.74	
Termómetro de alcohol rojo de vidrio				6.25	
Pizetas de 500 ml				3.33	
Beacker de vidrio de 1000 ml				38.91	
Probetas de vidrio Kimax de 1000 ml				77.17	
Erlenmeyer de vidrio Kimax 1000 ml				4.35	
Erlenmeyer de vidrio boca angosta				6.30	
Erlenmeyer de vidrio boca angosta				31.79	
Embudo de vidrio de 100 ml				0.83	
Pipetas Volumétricas de vidrio 5 ml				16.41	
Magentas				7500.00	
Beacker plástico con Aza de 2000 ml				4.17	
Productos de plástico				33.33	
Embudos plásticos				0.92	
Balón Aforado tapón plástico				93.96	
Mechero de metal BENCEU				6.17	
Enchufador multiple color beige				2.08	
Congelador de color blanco				166.67	
Mesa pequeña color blanco				6.25	

Mesa de madera de plywood				29.17	
Edificio de una planta				3364.58	
Construcción de complemento edificio				804.38	
Estantes de 4 compartimientos de metal				625.83	
Gabinete aéreo de plywood				16.67	
Gabinete aéreo de plywood				12.50	
Reloj de Pared Orient				5.00	
Barras Mescladoras de metal plateado				3.20	
Estereoscopio eléctrico				71.61	
Potenciómetro				52.88	
Balanza Analítica				191.03	
Autoclave 203 V				596.25	
Equipo de Aire para ventilación TURBO				15.63	
Agitador magnético				68.51	
Ventilador de ambiente metal CARRIER				62.50	
Cámara ambiental de metal				483.33	
Agitador magnético PC-320				66.67	
Aire acondicionado o ventilador				1264.17	
Cámaras de flujo laminar				2083.33	
Destilador de agua metálico				242.41	
Equipo medico-sanitario y de laboratorio				166.67	
Lámparas de 4x40 de color blanco				244.97	
Lámparas de 2x20 de color blanco				9.17	
Timers Marca Kahumura				51.88	
Materiales eléctricos				112.04	
Servicios de instalaciones				69.26	
Planos para instalación				5.50	
Mantenimiento equipo medico y de lab.				125.00	33273.06
Intereses					
21% sobre costos directos				2986.83	2986.83
Gastos de Administración					
Administración				1575.00	1575.00
Total Costos Indirectos					39,434.89
Costo Total					73,227.24
Número de plantas In vitro producidas					24,000
Costo en quetzales por planta In vitro					3.06
Tipo de cambio Q. 7.75 por 1\$EUA					

Anexo 11.

Cuadro comparativo de costos, en la producción de plántulas de papa a través del Sistema Autotrófico Hidropónico –SAH-, y la producción de plántulas de papa In vitro actual.				
Costos directos				
	Propagación In vitro		Propagación –SAH-	
Duración	5 meses		3 meses	
Descripción	Costo	%	Costo	%
Mano de obra	20,492.35	28	18,907.5	42
Insumos	9,300.00	13	7,207.09	16
Servicios	4,000.00	5	1,714.29	4
Total Costos Directos	33,792.35	46	27,828.91	62
Costos indirectos				
	Propagación In vitro		Propagación –SAH-	
Duración	5 meses		3 meses	
Descripción	Costo	%	Costo	%
Mano de obra a destajo	500.00	1	514.29	1
Materiales y suministros	1,000.00	2	605.71	1
Servicios	100.00	0	102.86	0
Depreciaciones	33,273.06	45	5,682.86	13
Intereses 21%/C.D.	2,986.83	4	6,894.40	15
Gastos de Administración 10%/C.D.	1,575.00	2	3,282.97	7
Total Costos Indirectos	39,434.89	54	17,083.09	38
Costo Total	73,227.24	100	44,912.00	100
Producción	24,000		24,000	
Costo Unitario	3.06		1.87	

Anexo 12.

Análisis económico para la evaluación de cinco sustratos en la obtención de plántulas de cinco variedades de papa (*solanum tuberosum* L.), con el Sistema Autotrófico Hidropónico (–SAH–) para la producción de semilla básica.

En cuanto a costos directos en mano de obra, tanto para servicios personales como para destajo con 18,907.5 (42%), así como los insumos con Q. 7,207.09 (16%) y servicios con un total de Q. 1,714.29 (4%) en la producción de plántulas a través del Sistema Autotrófico Hidropónico (–SAH–) para la producción de semilla básica, asciende a un costo total directo de **27,828.91** quetzales, que representa 62% del costo total.

Para este mismo rubro en cuanto a la producción de plántulas de papa, a través del método de propagación In vitro los costos directos suman un total de **33,792.35** quetzales, que representa el 46% del costo total, divididos en: mano de obra con Q. 20,492.35 (28%) así como los insumos con Q. 9,300.00 (13%) y los servicios con Q. 4,000.00 (5%)

Para los costos indirectos, donde se incluye: mano de obra a destajo con Q. 514.29 (1%) los materiales y suministros con Q. 605.71 (1%) servicios con Q.102.86 (0%), depreciaciones con Q. 5,682.86 (13%), intereses con Q. 6,894.40 (15%) y gastos de administración con Q. 3,282.97 (7%), la cantidad total fue de Q. **17,083.09** quetzales, que representan el 38% de los costos totales, en la producción de plántulas a través del Sistema Autotrófico Hidropónico (–SAH–) para la producción de semilla básica.

En el caso de los costos indirectos, para la producción de plántulas de papa In vitro, tomando en cuenta la mano de obra a destajo con un costo de Q. 500.00 (1%), los materiales y suministros con Q. 1,000.00 (2%), servicios con Q. 100.00 (0%), las depreciaciones suman Q. 33,273.06 (45%), los intereses ascienden a Q. 2,986.83 (4%) y gastos de administración con un total de Q.1,575.00 (2%), el monto total de costos indirectos fue de Q. **39,434.89** quetzales, que representan el 54% de los costos totales de producción.

Sumando un monto total de producción de Q. **44,912.00** quetzales, para un lote de **24,000** plántulas de papa, a través del Sistema Autotrófico Hidropónico (–SAH–) para la producción de plántulas, con un costo unitario de Q. **1.87** quetzales por planta.

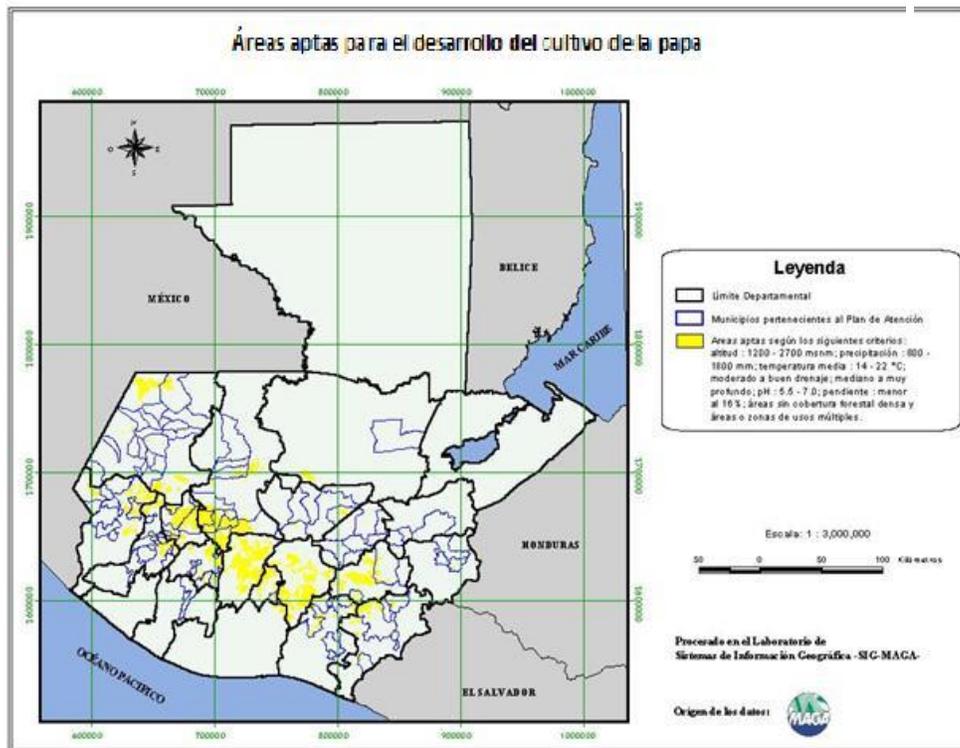
Para la producción de plántulas de papa, a través de la propagación In vitro la cifra total fue de: Q. **73,227.24** quetzales. Para un lote de **24,000** plántulas, con un costo unitario de **3.06** quetzales por vitroplanta.

De acuerdo con el análisis comparativo de costos de producción, entre el método de propagación In vitro y el Sistema Autotrófico Hidropónico (–SAH–) para la obtención de plántulas de papa (*solanum tuberosum*), las plántulas obtenidas a través del método –SAH– representan una reducción de costos de **Q. 28,315.24**

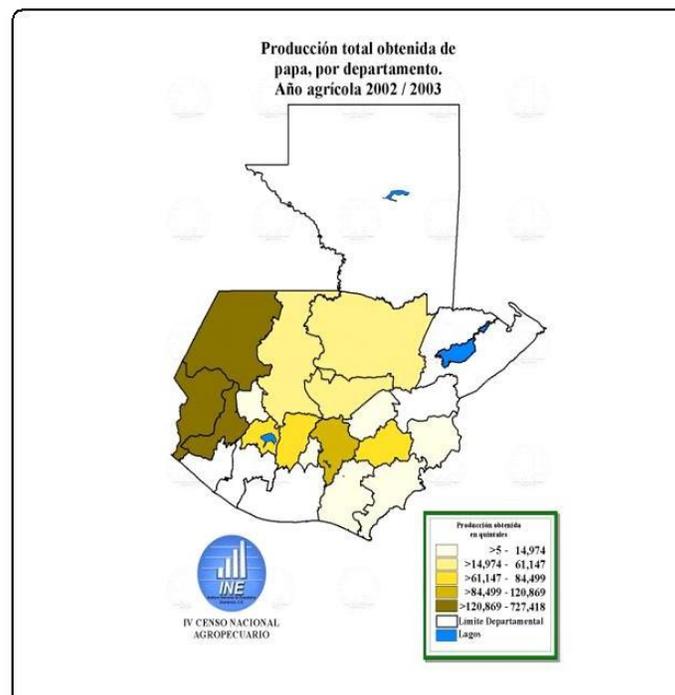
en comparación a vitroplantas, en donde la mano de obra se redujo Q1,584.85, los insumos Q. 2,092.91, los servicios Q. 2,285.71 (energía eléctrica), los materiales y suministros Q394.29, las depreciaciones Q.27,590.66, la mano de obra a destajo, los servicios (Agua potable), intereses y gastos de administración con un pequeño aumento de Q.14.29, Q. 2.86, Q.3,907.57 y de Q. 1,907.97 respectivamente.

La reducción en su mayoría fue aportada por las depreciaciones, por la menor cantidad de tiempo, pero sobre todo por la no utilización de cristalería y equipo de laboratorio tan sofisticado para la producción de plántulas, como lo requiere el método In vitro, a demás de la mano de obra especializada, de los insumos y suministro de energía eléctrica, ya que para la obtención de estas se requiere de iluminación, aire acondicionado, además del uso de autoclave en el procedimiento de esterilización.

Anexo 13.
MAPA 1. Áreas potenciales para el cultivo de la papa en Guatemala



Anexo 14.
Mapa 2. Producción nacional de papa. Ciclo agrícola: 2002 – 2003



Anexo 15.**Comportamiento histórico del cultivo de la papa en Guatemala**

Año	Superficie de Cosecha (Has.)	Producción (TM)	Rendimiento (Kg/Ha)
1950	3,156	8,354	2,647
1964	3,693	13,208	3,576
1,979	5,042	30,528	6,055
2,003	6,733	102,482	15,220

Fuente: Censos Agropecuarios del Instituto Nacional de Estadística -INE-.

Superficie, producción y rendimiento de papa, de los departamentos productores de Guatemala, año 2,003

Departamento	Número de fincas	Superficie cultivada Has	Producción obtenida TM	Rendimiento TM/Ha
Huehuetenango	7,904	1,958	33,064	16.89
Quetzaltenango	5,092	1,459	23,727	16.26
San Marcos	9,974	1,617	21,870	13.52
Guatemala	330	374	5,494	14.69
Sololá	968	255	3,841	15.06
Jalapa	665	318	3,513	11.05
Chimaltenango	825	241	3,262	13.54
Alta Verapaz	268	171	2,779	16.25
Baja Verapaz	95	125	2,465	19.72
Quiché	426	129	1,542	11.95
Totonicapán	402	69	681	9.87
El Progreso	21	13	206	15.85
Sacatepéquez	10	3	24	11.33
Jutiapa	2	1	12	12
Chiquimula	1	0	1	0
Santa Rosa	1	0	1	0
Total República	26,984	6,733	102,267	14.14

Fuente: Elaboración con base a datos del IV Censo Nacional Agropecuario. Instituto Nacional de Estadística. 2003.

Anexo 16.



Fotografía 1. Incremento del material previo a realizar la evaluación de los sustratos.



Fotografía 2. Tratamiento de los brotes. Después de desbrotar los mini tubérculos.



Fotografía 3. Producción de plántulas a través del Sistema Autotrófico Hidropónico –SAH–



Fotografía 4. Preparación de sustratos.



Fotografía 5. Preparación de contenedores



Fotografía 6. Elaboración de soluciones nutritivas hidropónicas.



Fotografía 7. Preparación área de corte



Fotografía 8. Plantación



Fotografía 9. Multiplicación de caja a caja.



Fotografía 10. Caja con 28 esquejes medios.



Fotografía 11. Incubación



Fotografía 12. Riego.



Fotografía 13. Obtención de resultados, medición de plántulas y conteo de número de entrenudos.



Fotografía 14. Obtención de resultados, medición y conteo de raíces.



Fotografía 15. Cuarto de cultivo.



Fotografía 16. Aclimatación.

