

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS



EVALUACIÓN DE TRES VARIEDADES DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) MULTIPLICADAS *In vitro* EN DOS VOLÚMENES DE SUSTRATO PARA LA PRODUCCIÓN DE MINI TUBÉRCULOS BAJO INVERNADERO.

POR

MARCELINO ARTURO ZEPEDA CAMPOS

WILLIAM ALEXANDER MENJIVAR LARA

Ciudad Universitaria, 3 de noviembre de 2016



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS



EVALUACIÓN DE TRES VARIEDADES DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) MULTIPLICADAS *In vitro* EN DOS VOLÚMENES DE SUSTRATO PARA LA PRODUCCIÓN DE MINI TUBÉRCULOS BAJO INVERNADERO.

POR

MARCELINO ARTURO ZEPEDA CAMPOS

WILLIAM ALEXANDER MENJIVAR LARA

Ciudad Universitaria, 3 de noviembre de 2016

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA**



Evaluación de tres variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) multiplicadas *in vitro* en dos volúmenes de sustrato para la producción de mini tubérculos bajo invernadero.

POR

Marcelino Arturo Zepeda Campos

William Alexander Menjivar Lara

**REQUISITO PARA OPTAR EL TITULO DE:  
INGENIERO AGRÓNOMO**

Ciudad Universitaria, 3 de noviembre de 2016

# UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR INTERINO:

Lic. JOSÉ LUIS ARGUETA ANTILLÓN

SECRETARIA GENERAL:

Dr. ANA LETICIA ZAVALA DE AMAYA.

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

DECANO:

ING. AGR. M. Sc. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA

SECRETARIO:

ING. AGR. M. Sc. LUIS FERNANDO CASTANEDA ROMERO

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

ING. AGR. M. Sc. FIDEL ÁNGEL PARADA BERRÍOS

---

DOCENTES DIRECTORES:

ING. AGR. MARIO ALFREDO PÉREZ ASCENCIO

---

Dr. FRANCISCO LARA ASCENCIO

---

COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACIÓN

ING. AGR. MARIO ALFREDO PÉREZ ASCENCIO

---

## RESUMEN

La presente investigación se realizó en la Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador, Departamento de San Salvador, durante los meses de octubre 2015 a marzo 2016; y consistió en evaluar tres variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) “Soloma”, “Icta-Frit” y “Tollocan” con dos volúmenes de sustrato en relación 1:1 (fibra de coco-piedra pómez) (4.5 y 2.5 litros) en macetas, aplicando la técnica de hidroponía bajo invernadero, para la producción de mini tubérculos como semilla pre básica. Se utilizó un diseño estadístico en bloques completamente al azar con arreglo bifactorial, con seis tratamientos y cuatro bloques, se aplicó la prueba de comparación de medias tukey con un grado de significancia 0.01%. Las variables evaluadas fueron: altura de planta, diámetro de tallo, número de brotes por planta, número de tubérculos por planta, peso, longitud y diámetro de tubérculos; asimismo para su respectivo análisis fue utilizado el programa InfoStat. A través de los resultados se determinó la fenología del cultivo de papa bajo invernadero, utilizando la técnica de hidroponía, encontrándose que en relación a cada una de ellas, las variedades Tollocan y Soloma su ciclo fue de 102 días, y la variedad Icta Frit de 107 días respectivamente. Además, estadísticamente la variedad de papa Soloma, mostró diferencias altamente significativas al 0.01% en relación a rendimiento. Con respecto a los volúmenes de sustrato, estadísticamente no se encontraron diferencias estadísticas significativas, es decir, que se puede utilizar cualquier nivel de sustrato (2.5 o 4.5 litros) y estos no influyen en la producción de mini tubérculos obteniendo pesos y número de tubérculos en el mayor volumen para la variedad Tollocan (6.18gr, 6.31) Soloma (5.85gr, 8.25), Icta-frit (3.51gr, 5.94) y para el menor volumen de sustrato pesos y números de tubérculos para la Tollocan de (5.42gr, 6.19) Soloma (6.43gr, 8.38), Icta-frit (3.24gr, 6.5).

**Palabras claves:** Papa, Semilla pre básica, Mini tubérculos, Hidroponía, Volumen de sustrato.

## SUMMARY

This research was conducted at the Faculty of Agricultural Sciences, University of El Salvador, San Salvador Department, during the months of October 2015 to March 2016; and consisted of evaluating three varieties of potato (*Solanum tuberosum* L.) "Soloma", "ICTA-Frit" and "Tollocan" with two volumes of substrate in 1: 1 ratio (coir-pumice) (4.5 and 2.5 liters ) in pots, using the technique of hydroponics greenhouse, for the production of mini tubers pre basic seed. A statistical design was used in a randomized complete block bifactorial under with six treatments and four blocks, the comparison test of Tukey stockings with a significance level of 0.01% was applied. The variables evaluated were: plant height, stem diameter, number of buds per plant, number of tubers per plant, weight, length and diameter of tubers; also for examination it was used InfoStat program. Through the results phenology of potato cultivation under greenhouse it was determined using the technique of hydroponics, finding that in relation to each of them, Tollocan and Soloma varieties cycle was 102 days, and the ICTA Frit variety of 107 days respectively. In addition, statistically Soloma potato variety showed highly significant differences at 0.01% in relation to performance. Regarding volumes substrate, statistically significant differences were not found, that is, you can use any substrate level (2.5 or 4.5 liters) and do not influence the production of mini tubers obtaining weights and number of tubers in the largest volume for the variety Tollocan (6.18gr, 6.31) Soloma (5.85gr, 8.25), ICTA-frit (3.51gr, 5.94) and the lower volume of substrate weights and numbers of tubers for Tollocan (5.42gr, 6.19) Soloma (6.43gr, 8.38), ICTA-frit (3.24gr, 6.5).

**Keywords:** Seed potatoes, pre-basic seed, Mini tubers, hydroponics, substrate volume.



## **AGRADECIMIENTO**

### **A Dios Todo Poderoso**

Por ser mi creador, el motor de mi vida, por no haber dejado que me rinda en ningún momento y permitirme alcanzar ésta etapa de mi existencia y culminar con satisfacción una de las metas más importantes de mi vida.

### **A Mi Querida Tía Edith Navarro Núñez**

Por ser como mi madre y estar siempre conmigo dándome animo y por el gran sacrificio que ella ha realizado para que pueda salir adelante, que ahora doy las gracias logrando culminar en esta fase de mi vida logrando titularme.

### **A Mi familia que estuvo cerca.**

Como mi hermanita **Yajaira Eunice Navarro Núñez**, mi tía **Ana Lucia Martínez**, al tío **Oswaldo Núñez**, también a mi primo **Numa Pompilio Flores**, quienes me apoyaron con consejos y otras cosas, así mismo a los que no creyeron también en mí, formaron parte fundamental para cumplir esta anhelada meta.

### **Alma Máter.**

Por haberme dado la oportunidad de ser parte del grupo tan selecto de estudiantes a los que ha formado nuestra querida Universidad de El Salvador.

### **A la Facultad de Ciencias Agronómicas.**

A todo el personal docente por su valiosa labor a lo largo de mi formación académica en cada una de las áreas del conocimiento de la carrera, y secretarias como del departamento de desarrollo Rural y Fitotecnia.

### **A mis asesores de tesis**

Ing. Agr. Mario Alfredo Pérez Ascencio y Dr. Ing. Agr. Francisco Lara Ascencio, mil gracias por haberme tenido fe y por brindarme su tiempo, ayuda, amistad, guía, comprensión, consejos, conocimientos, apoyo y colaboración durante toda la realización de ésta investigación.

**A mis amigos** que me apoyaron y estuvieron conmigo en el transcurso de la carrera.

**Marcelino Arturo Zepeda Campo**

## INDICE GENERAL

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
RESUMEN.....	iv
SUMMARY .....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. Características Generales.....	3
2.1.1 Origen.....	3
2.1.2. Importancia Nutricional.....	4
2.1.3. Importancia económica del cultivo de papa.....	4
2.2. Seguridad Alimentaria.....	5
2.2.1. Cambio Climático .....	6
2.3. Descripción botánica .....	6
2.3.1. Morfología de la papa .....	7
2.3.2 Variedades Cultivadas en el País .....	9
2.3.3 Propagación .....	9
2.3.3.1. Tecnologías utilizadas para la multiplicación de la semilla de papa.....	10
2.3.3.2. Material Vegetativo para la siembra.....	10
2.4 Cosecha, Clasificación y Proceso de curado.....	10
2.4.1. Usos y Consumo .....	11
2.4.2. Comercialización .....	11
2.5. Producción de semilla de papa libre de virus .....	11
2.5.1. Aclimatización de plantas In vitro (Vitroplantas).....	12
2.6 Cultivos protegidos .....	12
2.6.1. Clasificación de los diversos tipos de protección .....	12
2.6.2. Áreas y cantidad de invernaderos en El Salvador .....	13
2.7 El cultivo hidropónico .....	13
2.7.1 Sustratos .....	14
2.8 Generalidades de la Nutrición de la planta.....	15

2.8.1 Transporte de Nutrientes (Absorción de Nutrientes).....	16
2.8.2 Fertilización y Nutrición mineral de la papa .....	17
2.8.3 Composición de la papa.....	17
2.8.4 Extracción de nutrientes minerales del cultivo de papa.....	17
2.8.5 Técnicas de la hidrofertilización en la producción de minituberculos de papa.....	17
2.8.6 Factores que afectan la asimilación de nutrientes.....	19
2.8.6.1 Contenido hídrico o Nivel de humedad.....	19
2.8.6.2 Conductividad Eléctrica (dSm-1) .....	21
2.8.6.3 Reducción de Rendimiento por Efecto de salinidad. ....	22
2.8.6.4 El potencial de Hidrogeno (pH).....	22
2.9 Producción de semilla .....	23
2.9.1 Criterios de semilla de calidad .....	24
2.9.2. Categorías de las semillas de papa .....	24
3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
3.1. Descripción del estudio.....	25
3.2. Metodología de campo .....	26
3.2.1. Aclimatización de plantas In vitro.....	26
3.3. Establecimiento y Manejo del cultivo .....	26
3.3.1. Preparación de sustrato .....	26
3.3.2. Trasplante de planta In Vitro. ....	26
3.3.3. Fertilización .....	27
3.3.4. Monitoreo de plagas y enfermedades: .....	28
3.3.5. Aporco del cultivo de papa .....	29
3.3.6. Proceso de curado o poda del cultivo de papa .....	29
3.3.7 Cosecha.....	29
3.4. Metodología Estadística .....	29
3.4.1 Diseño de la Investigación: .....	29
3.4.2 Tratamientos evaluados .....	30
3.5. Variables a evaluadas .....	31
3.5.1. Morfológicas.....	31
3.5.2 Producción.....	32
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32

4.1 Fenología del cultivo .....	33
4.2 Altura de planta (cm).....	35
4.3. Diámetro de tallo.....	36
4.4 Número de hojas compuestas .....	37
4.5. Número de brotes .....	38
4.6. Número de mini tubérculos .....	39
4.7 Peso de los mini tubérculos .....	41
4.8. Longitud de mini tubérculos .....	42
4.9. Diámetro del mini tubérculo .....	43
4.10. Categorías de las tres variedades fueron: .....	44
5. CONCLUSIONES.....	45
6. RECOMENDACIONES.....	46
7. BIBLOGRAFIA .....	47
8. ANEXO.....	54

### **INDICE DE CUADROS EN TEXTO**

Cuadro3. Características morfo agronómicas.....	9
Cuadro 10. Niveles aceptables en mg/ l (ppm) de cada elemento en una solución nutritiva y principales formas de absorción.....	20
Cuadro 15. Sales minerales para la preparación de las soluciones concentradas en cuatro litros.....	27
Cuadro 16. Programa de Nutrición mas Riego en hidroponía.....	28
Cuadro 17 Programa Fitosanitario del cultivo de papa.....	28
Cuadro 18. Estructura del análisis de varianza (ANVA).....	30
Cuadro A-20. Simbología y distribución de C.E. de las variedades de papa.....	34

### **INDICE DE FIGURAS EN TEXTO**

Figura 26. Etapa fenológica de las tres variedades de papa.....	34
Figura 27. Altura de planta.....	35
Figura 28. Diámetro de tallo.....	36
Figura 29. Numero de Hojas Compuestas.....	38

Figura 30. Número de brotes.....	39
Figura 31. Numero de Mini tubérculos.....	40
Figura 32. Peso de Mini tubérculos.....	42
Figura 33. Longitud de Mini tubérculos.....	43
Figura 34. Diámetro de Mini tubérculos.....	44
Figura 35. Categorías por apreciación de Mini tubérculos de papa G1 de la variedad Tollocan.....	45

### INDICE DE CUADROS EN ANEXO

Cuadro A-1: Valores Nutricional para 100 gramos de papa.....	55
Cuadro A-2: Participación del sector agrícola en el PIB (Años: 2010-2014).....	55
Cuadro A-4. Propiedades físicas de la piedra pómez.....	55
Cuadro A-5. Propiedades químicas de la piedra pómez.....	56
Cuadro A-6. Propiedades físicas de la fibra de coco.....	56
Cuadro A-7. Propiedades químicas de la fibra de coco.....	56
Cuadro A- 8. Extracciones de macro nutrientes en el cultivo de papa.....	57
Cuadro A-9. Extracciones de elementos por tonelada en el cultivo de papa.....	57
Cuadro A-11. Clasificación del agua de riego de acuerdo a conductividad eléctrica, sodio, cloro y sulfatos.....	58
Cuadro A-12.- Efecto de las sales (EC) en el agua de riego y su efecto en el rendimiento de las principales hortalizas.....	58
Cuadro A-13. Efecto de las sales (EC) en el agua de riego; el suelo y su efecto en el rendimiento de las hortalizas.....	58
Cuadro A-14: Conductividad eléctrica de algunas hortalizas.....	59
Cuadro A-19. Significado de la simbología del plano de campo.....	59
Cuadro A-21. Análisis de la varianza para la variable altura de planta.....	59
Cuadro A-22. Prueba de tukey de Variedades de papa.....	60
Cuadro A-23. Prueba de tukey de Volúmenes.....	60
Cuadro A-24. Prueba de tukey Interacción de variedades *volumen.....	60
Cuadro A-25. Análisis de la varianza de número de diámetro de tallo.....	60
Cuadro A-26. Prueba de tukey de Variedades.....	61
Cuadro A-27. Prueba de tukey de Volúmenes.....	61
Cuadro A-28. Prueba de tukey de Interacciones Volumen*Variedad.....	61

Cuadro A-29. Análisis de la varianza de la variable número de hojas.....	61
Cuadro A-30 Prueba de tukey de Variedades.....	62
Cuadro A-31. Prueba de tukey de Volúmenes.....	62
Cuadro A-32. Prueba de tukey de Interacción Variedad* Volumen.....	62
Cuadro A-33. Análisis de la varianza de la variable numero de brotes.....	62
Cuadro A-34. Prueba de tukey de Variedades.....	63
Cuadro A-35. Prueba de tukey de Volúmenes.....	63
Cuadro A-36 Prueba de tukey Interacción de Variedad* Volumen.....	63
Cuadro A-37. Análisis de la varianza para la variable número de mini tubérculo.....	63
Cuadro A-38. Prueba de tukey de Variedades.....	64
Cuadro A-39. Prueba de tukey de Volúmenes.....	64
Cuadro A-40. Prueba de tukey Interacción de Volumen* Variedad.....	64
Cuadro A-41. Análisis de la varianza de la variable Peso de mini tubérculos.....	64
Cuadro A-42. Prueba de tukey de Variedades.....	65
Cuadro A-43. Prueba de tukey de Volúmenes.....	65
Cuadro A-44. Prueba de tukey Interacción de Variedad*Volumen.....	65
Cuadro A-45. Análisis de la varianza de la variable Longitud de mini tubérculo.....	65
Cuadro A-46.Prueba de tukey de Variedades.....	66.
Cuadro A-47. Prueba de tukey de Volúmenes.....	66
Cuadro A-48. Prueba de tukey Interacción Variedad * Volumen.....	66
Cuadro A-49. Análisis de la varianza de la variable Diámetro de mini tubérculo.....	66
Cuadro A-50. Prueba de tukey de Variedades.....	67
Cuadro A-51. Prueba de tukey de Volúmenes.....	67
Cuadro A-52. Prueba de tukey interacción Variedad* Volumen.....	67
Cuadro A-53. Parámetros de clasificación de mini-tubérculos de papa (variedad Tollocan)..	68
Cuadro A-54. Parámetros de clasificación de mini-tubérculos de papa (variedad soloma e Icta Frit.....	68

## INDICE DE FIGURAS DE ANEXOS

Figura A-1. Mapa de Distribución Geografía de Productores de papa en el año 2007 hasta la actualidad.....	69
Figura A-2. Morfología de la planta de papa.....	70
Figura A-3. Canales de comercialización.....	71

Figura A-4. Vitroplantas o plantas In Vitro.....	71
Figura A-5. Localización Municipal de Invernaderos para Plantines de Hortalizas.....	72
Figura A-6. Elementos de la Hidroponía.....	73
Figura A-7. Piedra pómez.....	73
Figura A-8. Tipos de fibra de coco.....	74
Figura A-9. Composición de la planta de papa.....	74
Figura A-10. Efecto del pH en la disponibilidad de nutrientes.....	75
Figura A-11. Invernadero con forma semicircular, Facultad de Ciencias Agronómicas-UES.....	75
Figura A-12. Micro túnel.....	75.
Figura A-13. Sembrado de plantas In Vitro a bandejas.....	76
Figura A-14. Fertilización por sub irrigación.....	76
Figura A-15.Desinfección de sustrato.....	76
Figura A-16. Extracción de plántula In Vitro.....	76
Figura A-17. Trasplante de plantas In Vitro de papa a macetas.....	76
Figura A-18. Aplicación de plaguicidas.....	77
Figura A-19. Proceso de curado de la papa.....	77
Figura A-20. Medición de las Altura de planta.....	77
Figura A-21. Toma del diámetro de tallo.....	77
Figura A-22. Pesado de los mini tubérculos.....	77
Figura A-23. Toma de longitud de minitubérculos.....	78
Figura A-24. Toma del diámetro de los minitubérculos.....	78
Figura A-25. Plano del montaje del cultivo en el invernadero.....	78
Figura 36. Categorías por apreciación de Mini tubérculos de papa G1 de la variedad Soloma.....	79
Figura 37. Categorías por apreciación de Mini tubérculos de papa G1 de la variedad Icta Frit.....	79
Figura 38. Número de tubérculos en categorías en base a parámetros de los cuadros 53 y 54, de las tres variedades de papa (G1).....	79

## 1. INTRODUCCIÓN

El Salvador tiene una fuerte dependencia de las importaciones con un porcentaje del 54% de las verduras que consumen los salvadoreños provienen de otros países (PRECOLMOBIA 2012). El país para lograr el abastecimiento de los mercados nacionales debe importar papa como alimento y semilla que se utiliza como material de siembra, la cual no es certificada, ocasiona efectos negativos en el costo por manzana, siendo de 3,070.60 dólares.

Aun cuando el factor de mayor importancia para la producción agropecuaria lo constituyen las semillas de las diferentes especies vegetales ya que, es el medio por el cual se lleva al agricultor todo el potencial genético de un cultivar con características superiores. Por ello para que una semilla realmente tenga impacto en la agricultura, es necesario que, además de ser de alta calidad y de una variedad mejorada, sea conservada por los agricultores, de esta manera aumentará la producción y productividad, ayudará a una utilización más eficiente de insumos debido a una mayor uniformidad de emergencia y vigor de plantas, y más si se trata de un cultivo como la papa que se multiplica en forma vegetativa a través de tubérculos-semilla. Si bien es cierto esta forma de multiplicación, es una ventaja ya que permite mantener las características propias de la variedad por generaciones, no es menos cierto también que es una fuente eficaz para la diseminación de plagas y enfermedades que afectan grandemente al cultivo de papa (Velásquez Carrera s.f.).

Siendo el tubérculo-semilla de papa factor fundamental para garantizar la calidad y la productividad de un cultivo, la siembra de tubérculos de mala calidad puede perjudicar una siembra, aún cuando las demás condiciones sean favorables al cultivo. Así, la obtención de tubérculos-semilla de calidad está directamente relacionada con la mejor aplicación de las técnicas de producción (Velásquez *et al.* 1998).

La papa posee un gran valor nutricional (proteínas/carbohidratos), a razón de esto, la gran demanda de papa que genera la población del país, obteniendo un valor per cápita anual de 2.2 kg según CENTA, “pero según valores actuales de producción e importación el consumo per cápita es de 13.52 kg”. Por ello se buscan tecnologías para aumentar la producción y a la vez que El Salvador produzca su propia semilla de papa, la falta de conocimiento acerca de nuevas técnicas lleva a ejecutar labores tradicionales. Razones para utilizar tecnologías



como el cultivo sin suelo y cultivos protegidos, empleando sustratos inertes que se presentan como una opción para un cambio de estrategia agronómica.

Es así como instituciones del estado como el Centro Nacional de Tecnológica forestal y Agropecuaria (CENTA), Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), y la Universidad de El Salvador (UES) desarrollan investigaciones para producir semilla de papa libre de virus con ayudas internacionales como la institución KOICA (International Cooperation Agency), logrando un aporte a la soberanía alimentaria de acuerdo a objetivos para el desarrollo sostenible y aportando a la seguridad alimentaria.

Por lo anterior la investigación tuvo como objetivo evaluar tres variedades de papa con dos volúmenes de sustratos, a base de piedra pómez mezclado con fibra de coco para la producción de mini tubérculos bajo invernadero. Así realizar un aporte al país con el inicio de información para la producción de semilla pre-básica de papa con el fin de que el país produzca en un futuro su propia semilla certificada libre de plagas y virus.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Características Generales

#### 2.1.1 Origen

El centro de origen de la papa se ubica entre Perú y Bolivia, cerca del lago Titicaca para la subespecie *andigenum*, aunque existen muchas especies silvestres en México, Guatemala, Ecuador y Chile; en este último, la Isla Chiloe se considera el centro secundario de la subespecie *tuberosum*. En 1537 Castellanos citado por Román y Hurtado (2002) hizo la primera referencia de la papa cultivada en el Perú.

Fue domesticada hace 7, 000 años por los habitantes de la región Andina que la usaban en su dieta diaria como fuente de carbohidratos. Los españoles la llevaron a Europa como una curiosidad botánica, con el paso del tiempo se volvió popular en todo el mundo (Muñoz 2010).

Según un artículo publicado por Spooner (2005). Botánico del servicio de Investigación Agrícola y sus colaboradores del Instituto Escocés de Investigación de cultivos, la papa (*Solanum tuberosum*) es una planta de las familias de las solanáceas, cultivada en casi todo el mundo por su tubérculo comestible. Es originaria del altiplano andino en un área que coincide aproximadamente con el Sur del Perú, donde ha sido cultivada y consumida al menos desde el VIII milenio. Introducida en Europa por los conquistadores españoles, tardó en incorporarse a la dieta por contener sustancias tóxicas en sus partes verdes, pero se ha convertido en uno de los principales cultivos del planeta.

La domesticación de *Solanum tuberosum* ha sido objeto de especulación; los ejemplares que describió Linneo como tipo de la especie pertenecían a una subespecie, *Solanum tuberosum*, que crece en estado silvestre en las islas de archipiélago de Chiloe. Continuaron con la hipótesis que el origen del vegetal estaría en dichas islas, en la cual se presentan variedades que no están presentes en el resto del mundo.

La controversia se resolvió en el 2005, mediante un estudio genético emprendido y dirigido, en la Universidad de Wisconsin, por el botánico Spooner (2005), especialista del Departamento de Agricultura de Estados Unidos, a través del análisis de marcadores genéticos de unas 360 especies de *Solanum*.

La conclusión de dicha investigación afirma que la papa es oriunda del Perú, pues el rastreo genético realizado llevó a identificar a un ancestro con origen único en el sur del Perú. De ese modo, todas las variedades de papa cultivadas actualmente se remontan a esa única fuente.

### **2.1.2. Importancia Nutricional**

La papa (*Solanum tuberosum* L.) constituye el cuarto alimento de mayor consumo en el mundo y su producción, a nivel mundial, es de unos 320 millones de toneladas por año. (RAP-L 2008).

La papa tiene alto contenido de carbohidratos lo que la posiciona como un alimento de alto valor energético. Además, aunque en menor medida, aporta proteínas en cantidad similar a los cereales y en mayor proporción que otros tubérculos. Su valor nutritivo incluye también aporte de vitamina C (Cuadro A-1).

### **2.1.3. Importancia económica del cultivo de papa**

De acuerdo a la Revista Trimestral del Banco Central de Reserva de El Salvador 2015, la contribución del sector agrícola (Cuadro A-2).

La papa se cultiva por multiplicación vegetativa, esto significa que se plantan los tubérculos, este tipo de propagación implica poca variabilidad genética comparada con el uso de la semilla sexual y debido a esto ofrece mayores riesgos frente a una posible enfermedad que ataque al cultivo. También pueden utilizarse las semillas sexual y asexual con el fin de obtener nuevas variedades, ya que originan producciones de papas muy heterogéneas (RAP-L 2008).

En el 2004, El Salvador, Venezuela y Trinidad y Tobago representaban los mayores importadores de la región latinoamericana. Estos países concentraban cerca del 40% del total del volumen de papa importada por ALC (Cumbre Latino Americana). Durante ese año El Salvador importó 65,111 toneladas de papa, cifra significativamente superior a los años anteriores, convirtiéndose en un importante mercado en la región, porque concentra un 20,5% de las importaciones totales de América Latina (Gutiérrez *et al.* 2008).

Para el país la superficie de hortalizas según lo reportado por los productores es 18,093 Mz. (1.80 ha); con una producción de 4, 433,311 QQ (201,093.66 Ton). Chalatenango, La Libertad y La Paz son los departamentos con la mayor producción de hortalizas a nivel nacional; entre las hortalizas con mayor producción y superficie son: la sandía, yuca, repollo y tomate. Para El Salvador la zona productora es en los cantones las Pilas, Rio chiquito, el

Centro, los Planes entre otros, que están ubicados en el municipio de San Ignacio, Departamento de Chalatenango (Fig. A-1). Según MAG (2013) en sus anuarios de estadísticas agropecuarios, se tiene una superficie para el cultivo de papa de 423 Mz (296.1 ha), teniendo un rendimiento de 656.4 qq /Mz y con una producción de 277,438 QQ (12,584.39 Ton).

Con la poca producción de este cultivo, el país importó 68,562,057.48 Kg (68,562.057 Tm) de papa siendo esto un valor de \$ 9,504,467.94 que es una fuga de divisas para el país.

## **2.2. Seguridad Alimentaria**

Existe seguridad alimentaria cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias en cuanto a los alimentos a fin de llevar una vida activa y sana (FAO 2006).

En los últimos 20 años ha aumentado el número de emergencias alimentarias de un promedio de 15 al año en el decenio de 1980, a más de 30 al año a partir de 2000. Las grandes emergencias alimentarias inducidas por el hombre, persistentes durante varios años, se denominan emergencias prolongadas. Casi todas las emergencias de este tipo se encuentran en África, donde el número promedio de crisis se ha triplicado en los últimos dos decenios. Nutren estas crisis principalmente los conflictos armados, a los cuales con frecuencia se suman la sequía, inundaciones y los efectos de la pandemia del SIDA. Las repercusiones sobre la producción de alimentos y la seguridad alimentaria han sido catastróficas para millones de personas que se ven expulsadas de sus hogares, no pueden trabajar sus tierras ni tienen acceso a los mercados para sus productos, además de no poder obtener suministros comerciales como semillas, fertilizantes y crédito (FAO 2006).

El Salvador enfrenta dos grandes desafíos en materia de seguridad alimentaria. Por un lado, el problema de desnutrición. Según cifras oficiales y mapeos de país elaborados por organismos internacionales, la desnutrición crónica afecta a 1 de cada 5 menores de cinco años. Paradójicamente por otro lado, en los últimos años, las tasas de sobrepeso y obesidad infantil, otros dos flagelos de la malnutrición, se cuadruplicaron (Martínez 2014.).

Ambos problemas: desnutrición y obesidad tienen el mismo origen: el país es altamente dependiente de las importaciones de alimentos; el campo no tiene suficientes recursos para producir, lo que se agrava con un clima cambiante; las fluctuaciones de los precios de los alimentos a escala regional e internacional han afectado directamente a El Salvador, los

alimentos están cada vez más caros y las familias del campo y la ciudad se enfrentan cada vez más, con dificultades para acceder a alimentos nutritivos en la cantidad y calidad necesarias para su desarrollo integral. Nuestra dieta tradicional también cambió (Martínez, 2014.).

Es así como se impulsa por el gobierno, el Plan de Agricultura Familiar, Seguridad Alimentaria y Nutricional, en el periodo 2011 a 2014, a través del Ministerio de Agricultura y Ganadería. Su principal objetivo es reducir los niveles de pobreza rural mediante la generación de riqueza y bienestar de las familias que desarrollan la Agricultura Familiar en los territorios priorizados (IICA 2015).

### **2.2.1. Cambio Climático**

El cambio climático se refiere a un cambio estadísticamente significativo en el estado medio del clima o en su variabilidad, que persiste durante largos períodos. El cambio climático puede atribuirse a las actividades humanas y a causas naturales, que alteran la composición de la atmósfera (MARN 2016).

El cambio climático es una realidad para América Central, considerada un “Punto Caliente” en términos de afectaciones por la variabilidad climática (Magrin *et al.* 2007). La variabilidad climática en El Salvador es una realidad que se presenta en el cambio de la frecuencia, duración e intensidad de las lluvias, además de cambios en su distribución espacial (MAG 2012).

### **2.3. Descripción botánica**

La papa pertenece a la familia de las solanáceas. Las especies cultivadas son las tetraploides ( $2n=32$ ) que pertenecen a las especies *Solanum tuberosum* y *Solanum andigenum*. La especie *Solanum tuberosum* es la papa que fue llevada a Europa por los españoles y domesticada en esos países, generalmente es de ciclo cortos (90 a 100 días) de forma alargada, piel lisa, ojos superficiales, el color de la pulpa es crema a amarilla y la piel rosada, roja o beige, y tiene estolones cortos. La especie *Solanum andigenum* es de ciclo largo (de forma redonda, y ojos profundos, color de piel variable (morada, roja, blanca, negra y combinada); la pulpa es blanca o amarilla, y es cultivada por los países de Sur América (Román y Hurtado 2002).

Se trata de una planta herbácea, de tallo erecto. Sus raíces son fibrosas y muy ramificadas. Las hojas son compuestas y presentan de 7 a 9 folíolos. Las flores están formadas por un único pistilo y cinco estambres. El color de la flor puede ser blanco, lila, moradas e incluso

violetas, presentando distintas intensidades según el cultivar. Los tubérculos son tallos modificados que constituyen los principales órganos de almacenamiento. Las semillas reniformes y de color blanco. ( $2n = 48$ ). Se cultiva por sus tubérculos comestibles que también se utilizan para la obtención de almidón y, por fermentación, de alcohol (Agrolanzarote 2012).

### **2.3.1. Morfología de la papa**

La papa es una planta anual que alcanza una altura entre 40 y 80 cm (Fig A-2) (Parsons 1984).

Según Inoztroza (2009) la papa es una planta herbácea. Varía entre las especies y dentro de cada especie. Cuando todas las hojas (o casi todas) se encuentran cerca de la base o en la base de tallos cortos, y están cerca del suelo, se dice que la planta tiene hábito de crecimiento arrosado o semiarrosado; además hay de crecimiento rastrero (Tallos que crecen horizontalmente sobre el suelo), decumbente (Tallos que se arrastran pero que levantan el ápice) y semierecto y erecto.

1. **Raíces:** las plantas de papa pueden desarrollarse a partir de una semilla o de un tubérculo. Cuando crecen a partir de una semilla, forman una delicada raíz axonomorfa con ramificaciones laterales. Cuando crecen de tubérculos, primero forman raíces adventicias en la base de cada brote y luego encima de los nudos en la parte subterránea de cada tallo.
2. **Tallos:** el sistema de tallos de la papa consta de tallos, estolones y tubérculos. Las plantas provenientes de semilla verdadera tienen sólo un tallo, principal mientras que las provenientes de tubérculos-semilla pueden producir varios tallos.
3. **Estolones:** Tallos laterales que crecen horizontalmente por debajo del suelo a partir de yemas de la parte subterránea de los tallos. Los estolones pueden formar tubérculos mediante un agrandamiento de su extremo terminal. Sin embargo, no todos los estolones llegan a formar tubérculos. Un estolón no cubierto con suelo, puede desarrollarse en un tallo vertical con follaje normal.
4. **Tubérculos:** Son tallos modificados y constituyen los principales órganos de almacenamiento de la planta de papa. Un tubérculo tiene dos extremos: el basal, o extremo ligado al estolón, que se llama talón, y el extremo expuesto, que se llama extremo apical o distal.
5. **Brotos:** Crecen de las yemas que se encuentran en los ojos del tubérculo y el color es una característica varietal importante. Los brotes pueden ser blancos,

parcialmente coloreados en la base o el ápice, o casi totalmente coloreados. Los brotes blancos, cuando se exponen indirectamente a la luz, se tornan verdes. El extremo basal del brote forma normalmente la parte subterránea del tallo y se caracteriza por la presencia de lenticelas. Después de la siembra, esta parte rápidamente produce raíces y luego estolones o tallos laterales. El extremo apical del brote da origen a las hojas y representa la parte del tallo donde tiene lugar el crecimiento del mismo.

6. **Hojas:** Están distribuidas en espiral sobre el tallo. Normalmente, las hojas son compuestas, es decir, tienen un raquis central y varios folíolos. Cada raquis puede llevar varios pares de folíolos laterales primarios y un folíolo terminal. La parte del raquis debajo del par inferior de folíolos primarios se llama pecíolo. Cada folíolo puede estar unido al raquis por un pequeño pecíolo llamado peciólulo, o puede estar unido directamente, sin peciólulo, y en este caso se llama folíolo sésil.
7. **Inflorescencia:** El pedúnculo de la inflorescencia está dividido generalmente en dos ramas, cada una de las cuales se subdivide en otras dos ramas. De esta manera se forma una inflorescencia llamada cimosa.
8. **Las Flores:** Son bisexuales (tienen ambos sexos), y poseen las cuatro partes esenciales de una flor: cáliz, corola, estambres y pistilo.
9. **Frutos:** Al ser fertilizado, el ovario se desarrolla para convertirse en un fruto llamado baya, que contiene numerosas semillas. El fruto generalmente es esférico, pero en algunas variedades son ovoides o cónicos.
10. **Semillas:** son planas, ovaladas y pequeñas (1.000-1.500 semillas/gramo). Cada semilla está envuelta en una capa llamada testa que protege al embrión y un tejido nutritivo de reserva llamado endosperma. Las semillas son también conocidas como semilla verdadera o botánicas.
11. **Dormancia o reposo de la semilla:** Es el periodo que transcurre entre la cosecha y la brotación. Para el tubérculo semilla esta etapa dura 2-3 meses, y para la semilla sexual, 4 a 6 meses. La dormancia puede ser rota o inducida por heridas o alguna enfermedad en el tubérculo; en estos casos la brotación ocurre en menor tiempo. También puede inducirse por tratamiento químico, utilizando el ácido giberélico, en dosis de 1 a 5 ppm (Román y Hurtado 2002.).

Existen dos definiciones comunes de período de reposo:

Reposo total: el período comprendido desde el inicio de la tuberización hasta el término del reposo

Reposo postcosecha: el período desde la cosecha hasta el fin del reposo (Wienserma 1985).

### 2.3.2 Variedades Cultivadas en el País

En el país se cultivan tres variedades entre ellas la variedad Soloma, Icta Frid y Tollocan. Las cuales se adaptan entre los 550-2,800msnm. Se presentan características de las variedades (cuadro 3)

**Cuadro 3.** Características morfo agronómicas de la planta de papa.

Características	Icta-Frid	Tollocan	Soloma*
<b>Adaptación (msnm)</b>	1,800 a 2,800	1,400 a 2,500	550 a 2400
<b>Altura de planta (m)</b>	0.8 a 1.0	0.75 a 0.85	0.75
<b>Tallos</b>	Erectos, Robustos	Erectos, Robusto	Rectas, Angostas
<b>Color del tubérculo</b>	Beige-amarillento	Amarillo-crema	-----
<b>Forma del tubérculo</b>	Alargado y ligeramente aplanado	Redondo aplanado	Alargado ovalado
<b>Color interno del tubérculo</b>	Crema amarillento	Crema	-----
<b>Color de la flor</b>	Morada	Blanca	Lila, Blanca
<b>Días a cosecha</b>	120	100-110	120-130
<b>Rendimiento(tm/ha)</b>	19.5 -32.5	26-39	5-6

**Fuente:** Román y Hurtado 2002. \* López Monzón *et al.* 2011

### 2.3.3 Propagación

La producción de la semilla de papa se puede lograr mediante dos mecanismos: reproducción sexual y asexual.

Semilla genética (sexual): También conocida como semilla verdadera, o botánica. Consiste en la fertilización del ovario de la flor hasta convertirse en un fruto (Mejía *et al.* 2013).



Generalmente o comercialmente se propaga usando el tubérculo-semilla (asexual): Se clonan tubérculos, o secciones suyas (brotes, meristemos, o subdivisiones), y secciones de la planta (esquejes apicales o laterales). Esto puede ser a partir de multiplicación *In vitro* u otros sistemas de multiplicación, como: aeroponía, hidroponía, por lo tanto, su patrón genético no se modifica ni altera después de ciclos reproductivos, porque no hay un cruce de dos individuos que modifiquen su identidad genética (Mejía *et al.* 2013).

#### **2.3.3.1. Tecnologías utilizadas para la multiplicación de la semilla de papa**

La necesidad de incrementar las tasas de multiplicación de semillas, o de incrementar el número de tubérculos, ha motivado la creación de los sistemas de multiplicación siguientes (Mejía *et al.* 2013):

- A) Multiplicación usando la técnica de cultivo de tejidos.
- B) Multiplicación de plántulas para obtención de semilla- tubérculo a nivel de casas mallas y otros sistemas de multiplicación masiva (aeroponía e hidroponía).
- C) Obtención de semilla artesanal a partir de semilla certificada. El corte de tubérculos.

#### **2.3.3.2. Material Vegetativo para la siembra**

En el país el tubérculo que se utiliza para consumo, de igual manera se utiliza para la siembra, esta técnica trae como consecuencia la diseminación de plagas y enfermedades (semilla no certificada). Sin embargo existen otras técnicas como la producción de plantines que hace énfasis las instituciones (CENTA); para lo cual se requiere de 180 m<sup>2</sup> de semillero para producir plántulas o mini tubérculos para sembrar una manzana (0.7 ha). Para ello bastan 60 g de semilla sexual (Román y Hurtado 2002.).

#### **2.4 Cosecha, Clasificación y Proceso de curado**

Proceso de curado es para evitar daños de la cascara y para conservar la papa en buen estado, se debe curar antes de cosechar, Es conveniente cortar el follaje unos 10 días antes de la cosecha, para que la piel de los tubérculos se vuelva más fuerte, y acelera su madurez. Esta práctica favorece la acumulación de materia seca, condición importante en la calidad del producto, y control de la polilla de la papa y cualquier daño físico o la pérdida de humedad. Y después de haber cortado el follaje permanecerá sin riego, fertilización por 15 días para completar el curado (Román y Hurtado 2002.).

Clasificación, consiste en ordenar los tubérculos producidos, en base al tamaño, dependiendo de la variedad puede tenerse hasta tres categorías (Chávez y Ramírez 2013).

Cosecha el estado del cultivo se define por los días del ciclo vegetativo de la variedad sembrada (precoz, intermedia o tardía) o bien cuando el follaje comienza a volverse amarillo en forma generalizada y las hojas comienzan a caerse de manera natural.

La cosecha debe hacerse en horas tempranas de la mañana y con tiempo seco; el arranque se hace manualmente, con azadón, suacho o cuma.

Es conveniente cosechar con cuidado para evitar heridas sobre la superficie de las papas, por que se convierten en la principal vía de entrada de múltiples enfermedades.

Los tubérculos deben dejarse extendidos en el suelo expuestos al sol por un periodo de 2 horas para que se aireen y se sequen bien, lo que ayuda a terminar de suberizar la piel del tubérculo, lo cual al frotarse con las manos no debe desprenderse, esto contribuye a evitar daños durante el manipuleo, transporte y almacenamiento, también facilita el desprendimiento de la tierra adherida (Román y Hurtado 2002.).

#### **2.4.1. Usos y Consumo**

La papa es una hortaliza que tiene formas de usos y consumos diversos:

Consumo doméstico: El principal uso es en fresco, utilizado en la elaboración de platillos gastronómicos, producción de hojuelas o chips, bastones de papa pre cocida o para freír (papa frita), puré, mayonesas, jaleas, para el consumo animal: se utiliza en la elaboración de forrajes y abonos, entre otros, y para la Industria química: para extraer alcohol y fabricar: licores, esencias y aromas, además que puede utilizarse también en la producción de cosméticos y medicinas, entre otros. Como pulpa se puede extraer proteína líquida, seca y se usa también como papa deshidratada, en Europa y U.S.A. consumen 75 kg per cápita anual, mientras que en El Salvador este valor es de 2.2 kg per cápita según CENTA conglutinante “pero según valores actuales el consumo es de 13.52 kg per cápita” (Comité Nacional Sistema Producto papa. 2012).

#### **2.4.2. Comercialización**

Comprende todos los procesos, funciones y servicios que afectan a los productos (Agrícola), agropecuarios en la trayectoria que siguen desde que salen de la finca, hasta que llegan al consumidor final (Fig A-3), así como la actividad de las personas grupo de ellas o instituciones implicadas en el proceso (Gómez y Vásquez 2011).

#### **2.5. Producción de semilla de papa libre de virus**

Vitroplanta o plantas in vitro son plantas que se obtienen mediante la propagación en laboratorio bajo condiciones ideales desde la selección de material libre de patógenos se

debe considerar el lugar de origen, fenotipo, genotipo, estado fisiológico y época de cosecha saneamiento de material vegetativo, las plantas madres son sometidas a tratamientos, como termoterapia o quimioterapia, se inicia con la extracción del meristemo activándolos con medios de cultivos para la multiplicación es donde crecen los tejidos de interés. Existen diferentes combinaciones de micro elementos, vitaminas, reguladores de crecimiento, fuentes de carbono, y otros compuestos, de acuerdo al tipo de cultivo a preparar hasta la producción de la vitroplanta (Fig A-4) (Chávez y Ramírez 2013).

### **2.5.1. Aclimatización de plantas In vitro (Vitroplantas)**

Es el cambio gradual de las condiciones ambientales; en el caso concreto, es la transferencia de las plántulas de un ambiente aséptico cerrado a un vivero o campo, con menor humedad relativa y mayor intensidad de luz (Valerín sf).

## **2.6 Cultivos protegidos**

Los cultivos protegidos son tecnologías agrarias modernas y promisorias que permiten extender los calendarios de cosecha de las hortalizas tradicionales, y aseguran su suministro fresco a la población y el turismo, inclusive en los períodos en que la oferta de la producción proveniente del campo abierto resulta en extremo limitada (Largo Medero 2012).

### **2.6.1. Clasificación de los diversos tipos de protección**

Microtúneles son pequeñas estructuras, sencillas, de fácil instalación y económicamente accesibles, que soportan la malla o pantalla que provee protección temporal al cultivo. En general, son utilizados para proteger los cultivos en sus primeras etapas, contra los agentes climáticos, plagas y enfermedades. Macrotúneles o túneles altos son estructuras generalmente construidas con arcos de bambú, tubos de PVC o hierro galvanizado, cubiertos con una o más capas de plástico de tipo invernadero, agrotexil o malla anti-insectos. Su altura, generalmente entre 3 y 3.5 m, favorece el uso de variedades indeterminadas. Las casas malla (sombráculos, “nethouses”), tienen como función el sombreado de los cultivos en terrenos abiertos, teniendo como objetivo disminuir la incidencia de los rayos solares durante el día y moderar la temperatura durante las noches frías a través del uso de mallas blancas, negras o de colores, que realizan un sombreado de 30 a 50% (Santos *et al.* Sf).

Invernadero es cualquier estructura cerrada cubierta por materiales transparentes que sirve de protección a los diferentes cultivos, altamente permeable a la luz solar que preserva a las plantas de los factores climatológicos adversos como alta irradiación solar, lluvias continuas, vientos, temperaturas bajas y altas, que permite el manejo del ambiente interno mediante

climatización tecnificada de acuerdo a las necesidades de la planta, para tener un desarrollo óptimo y alta productividad (Portillo 2010).

La cantidad de equipos que ayudan a controlar el clima interior de los invernaderos varía en función de las necesidades de climatización y los costos. Los invernaderos pueden ser clasificados en relación con el control de los factores meteorológicos en: climatizados, semiclimatizados y no climatizados. Los climatizados son los que poseen todos los mecanismos eléctricos, electrónicos y mecánicos de accionamiento automático necesarios para el control de temperatura, humedad relativa, contenido de CO<sub>2</sub> y luz. Los semiclimatizados tienen solo algunos equipos de climatización, y aunque se acercan a obtener condiciones ideales de clima, no las alcanzan. Se usan para explotaciones agrícolas altamente rentables. Los no climatizados, generalmente denominados cubiertas, solo incluyen la estructura y algún tipo de cobertura traslúcida, teniendo en cuenta que son estructuras diseñadas con base en criterios técnicos, tales como conservación de la energía, captación de luz y resistencia a los vientos. (CORPOICA 2013).

### **2.6.2. Áreas y cantidad de invernaderos en El Salvador**

Según CENTA (2011) informe final del proyecto: “fomento a la producción y productividad de los granos básicos, hortalizas y frutales en El Salvador”, PEIS (4643) hay 56 municipios de los catorce departamentos que poseen 146 invernaderos (126 m<sup>2</sup>) para plantines (Tomate, chile, pepino y repollo), 69 invernaderos para producción con área de 300 m<sup>2</sup> (3.75mz de área total), 318 con microtúnel (43.5mz en total en dos ciclos productivos) y 161 con macro túnel con una superficie de 115m<sup>2</sup> (3.5mz de área total) (Fig.A-5).

### **2.7 El cultivo hidropónico**

La palabra Hidroponía se deriva etimológicamente de las siguientes voces griegas: Hydro = que significa “Agua” y Ponos = que significa “labor o trabajo”. Lo que significa literalmente trabajar o cultivar sin usar el suelo, es decir teniendo como soporte de las plantas solamente el agua (Comité de Coordinación del Proyecto Centro de Desarrollo Rural 2008).

Los cultivos hidropónicos presentan un recurso valioso, porque permite cultivar productos en determinadas regiones que resultan difíciles de obtener en tierra. Además permite cubrir las necesidades de consumo diario y ayuda a los pequeños productores a que aumente sus ingresos para mejorar sus condiciones de vida (Corona sf).

El cultivo hidropónico permite una nutrición completa; los cuales están dosificados de manera eficiente a través de porcentajes estrictos. Además ahorro de espacios permite la utilización

de espacios urbanos pequeños tales como; patios, soleras, balcones, paredes los cuales no presentan contaminación, los cultivos hidropónicos presentan menores porcentajes de contaminación ambiental, debido a que se obtienen productos exentos de agroquímicos, menor consumo de agua, fluctúan entre dos a cuatro litros por metro cuadrado, ahorro de mano de obra e Insumos, permite ahorrar en pagos de salarios a personal, y economiza semilla y material de siembra, mayor rendimiento por el número de plantas a cultivar por cada metro cuadrado es mayor por lo tanto se logran mejores producciones obteniendo frutos vigorosos y suculentos aptos para exportación, sin embargo la desventaja es que se requiere de conocimiento de nutrición vegetal y desarrollo de los cultivos en general, asesoría técnica profesional y requiere de un abastecimiento continuo de agua. La decisión de utilizar esta tecnología para el desarrollo de los cultivos está sujeta a la clara y precisa respuesta que el interesado dé cada uno de los elementos que componen la Hidroponía (Fig. A-6) (Bedoya justo s.f.).

### **2.7.1 Sustratos**

Los sustratos se clasifican en dos grupos: líquidos y sólidos.

El sustrato es un material sólido e inerte, cuya principal función es contener las plantas, otra función adicional es contener el agua y los nutrientes que requiere la planta para su desarrollo (Baixauli y Aguilar 2002).

El sustrato se utiliza un medio sólido y soporte de las raíces permitiendo de esta manera el establecimiento del cultivo. El sustrato tiene varias funciones: no solo sirve de anclaje a las plantas, también protege a las raíces de la luz solar; retiene cierta cantidad de solución nutritiva (agua con nutrimentos) y permite el suministro de oxígeno a las raíces por medio de los espacios aéreos entre las partículas (INIA, Proyecto de hidroponía 2003).

**La piedra pómez:** es un material de origen volcánico, disponible en el país, Posee muy buena retención de humedad y muy buenas condiciones físicas (cuadro A-4) de estabilidad y durabilidad. A veces puede presentar problemas químicos (cuadro A-5) por excesos de azufre y boro, pero estos pueden ser eliminados mediante un cuidadoso lavado con agua caliente. No trae ninguna clase de enfermedades y desde el punto de vista biológico es completamente estéril, siempre que se extraiga de vetas profundas y no contenga mezcla de tierra (Calderón y Cevallos 2002) (Fig. A-7).

**Fibra de coco:** Es un sustrato orgánico, 100% natural y renovable, se procesa de diferentes maneras en función del uso agronómico al que esté destinado. La fácil rehidratación del

material permite su secado y prensado en origen lo que minimiza los gastos de transporte y facilita la manipulación por el usuario final. (AGROMATICA 2014).

Constituye un excelente sustrato, por su buena capacidad de retención de humedad ofreciendo grandes ventajas para la mezcla con otros sustratos (cuadro A-6). En Costa Rica en los últimos tiempos se ha iniciado la producción de este sustrato, sin embargo faltan algunos controles en la calidad, ya que existen materiales derivados de fibra "joven" que se ofrece a la venta sin previo tratamiento en la eliminación de sustancias tóxicas. La fibra de coco empleada en hidroponía debe tener una alta relación carbono/nitrógeno, para que se mantenga estable químicamente en el sustrato (Mora 2012).

Los tamaños de partículas del sustrato de fibra de coco se seleccionan por los diferentes tamizados que se realizan con la materia prima. Sustratos de tres granulometrías para usos distintos: fino, grueso y chip (Fig. A-8) (AGROMATICA 2014).

Coco fino: para semilleros y esquejes, donde las raíces son muy pequeñas y débiles.

Coco estándar: se puede utilizar para jardineras, macetas o cualquier otro medio.

Coco grueso o chip: para plantas grandes, acolchado de jardines y demás.

Posee la ventaja que es un subproducto natural y orgánico procedente de coco, tiene una gran capacidad de aireación y retención, tienen un pH estable, ofrece una rápida respuesta cuando se pretende corregir carencia mineral. Se rehidrata fácilmente. Por lo que la respuesta al estrés hídrico es rápida. Retiene nutrientes con gran facilidad y los libera de forma progresiva (AGROMATICA 2014).

Desventajas, se ha de solucionar el problema de la salinidad (cuadro A-7); debido a que el cultivo de coco se da en zonas costeras, azotadas por vientos salinos. Al final esas fibras del coco contienen una gran cantidad de sales que podían pasar al cultivo, no aporta tantos elementos minerales como sustratos. (AGROMATICA 2014)

## **2.8 Generalidades de la Nutrición de la planta**

De los 90 elementos químicos que aparecen en la naturaleza, 60 se pueden encontrar en las plantas, no obstante muchos de estos no se consideran esenciales para su crecimiento, y su existencia probablemente se debe a que las raíces de las plantas absorben en su entorno algunos elementos que existen en forma soluble. Las plantas tienen la habilidad de poder seleccionar la cantidad de los diversos iones que absorben, no siendo normalmente esta absorción directamente proporcional a la cantidad de nutrientes que existen; un elemento

debe cumplir tres criterios para ser considerado esencial en el crecimiento de las plantas: 1) la planta no podrá completar su ciclo de vida en ausencia del elemento. 2) La acción del elemento debe ser específica y ningún otro elemento puede sustituirlo completamente. 3) El elemento deberá estar directamente implicado en la nutrición de la planta; esto es, ser un constituyente de un metabolito esencial o, por lo menos, ser necesaria su presencia para la acción de una enzima esencial, y no ser simplemente la causa de que otros elementos sean más fácilmente asimilables, o ser al menos un antagonista de un efecto tóxico de otro elemento. (Resh 2001).

Solamente 16 elementos se consideran esenciales, de forma que estas no se desarrollan cuando falta cualquiera de ellos (Margulis y Dorion, sf). De estos elementos esenciales, tres de ellos los obtiene del ambiente: el carbono (C), Hidrógeno (H), Oxígeno (O<sub>2</sub>), lo que representa el 90-95% del total, el resto puede ser del 5-10% los cuales son aportados bajo sales minerales, se dividen en dos grupos: Macronutrientes: aquellos requeridos en grandes cantidades y estos a su vez se dividen en dos: nutrientes primarios entre ellos tenemos el carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O<sub>2</sub>), y los nutrientes secundarios tenemos el nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), azufre (S) y magnesio (Mg) y Micronutrientes: Se denominan así porque las plantas deben absorberlos en pequeñas cantidades para que funcionen bien, estos son: Boro (B), Manganeso (Mn), Hierro (Fe), Zinc (Zn), Cobre (Cu), Molibdeno (Mo), Cloro (Cl) (California Fertilizer Association, 1995).

### **2.8.1 Transporte de Nutrientes (Absorción de Nutrientes)**

Las plantas obtienen normalmente sus necesidades de agua y elementos minerales a partir del suelo. En un medio sin suelo, las plantas deberán también proveerse de agua y elementos minerales; así pues, al entender las relaciones de las plantas en un sistema hidropónico, se debe también tener en cuenta las relaciones que existen en su crecimiento en el suelo. En los cultivos hidropónicos, las raíces de las plantas son humedecidas con una solución de nutrientes que contiene los elementos; por tanto, el proceso de utilización de los minerales por las plantas es cuando las raíces están en contacto con la solución de nutrientes, los iones penetrarán dentro de la raíz a través del apoplasto y luego los iones pasarán al symplasto a través de un proceso necesario de respiración activa. La nutrición vegetal es la base de la hidroponía. La nutrición de las plantas por medio de la utilización de soluciones de nutrientes será el éxito en los cultivos hidropónicos. La absorción y transporte de los nutrientes de las plantas en las cuales ya se han mencionado antes. Mantener a las plantas en un estado óptimo de nutrición. Los cultivos hidropónicos nos permiten obtener esto, pero también presentan un riesgo de error, que puede dar como

resultado una rápida carencia de nutrientes u otros efectos adversos en las plantas (Resh 2001).

### **2.8.2 Fertilización y Nutrición mineral de la papa**

Un aspecto relevante sobre la nutrición de las plantas es conocer la cantidad de elementos minerales que la planta absorbe del suelo y el momento en que se produce esa extracción. A mayor producción de un cultivo, habrá mayor toma de nutrientes por parte del mismo. La fertilización: es una práctica agronomía muy importante que consiste en aportar al suelo o al follaje los elementos necesarios de acuerdo a los requerimientos de la planta (California Fertilizer Association, 1995).

**2.8.3 Composición de la papa** como cualquier organismo vegetal o animal está compuesta mayoritariamente por agua; los tubérculos por un 80% y la parte aérea por un 90% (Fig. A-9). En el caso de la producción de papa, el órgano o tejido de interés es el tubérculo, ya que es la parte aprovechable del cultivo. Una alta producción de tubérculos requiere un porte aéreo adecuado que nos garantice el desarrollo de los sumideros. Por todo ello, se debe considerar la extracción de nutrientes producida tanto por los tubérculos como por las partes vegetativas (tallo, raíces, etc.), si bien deben ir todas las extracciones referidas al rendimiento de los tubérculos (Azcón-Bieto, y Talón 2000).

### **2.8.4 Extracción de nutrientes minerales del cultivo de papa**

La extracción de nutrientes minerales por el cultivo de la papa está determinada principalmente por el rendimiento posible de alcanzar con el cultivo (Rodríguez Macías *et al.* 2005). En el cuadro A-8 se muestra disparidad entre las cantidades extraídas de los diferentes nutrientes, según los autores. Sin embargo, al calcular los valores medios extraídos en función del rendimiento de los tubérculos y parte aérea (cuadro A-9), se aprecian valores de extracción similares.

Además, se observa que la cantidad de nutrientes extraídos es mayor en tubérculos que en la parte aérea, porque actúan como sumidero de foto asimilados y nutrientes minerales, especialmente en el caso del potasio. Este elemento es necesario para la translocación de azúcares y la síntesis de almidón en el tubérculo (Reis, Jr y Fontes 1996).

### **2.8.5 Técnicas de la hidrofertilización en la producción de minituberculos de papa**

Se denomina solución madre o stock a composiciones concentradas de nutrientes las cuales están formuladas por sales minerales que se emplean en un medio particular (Resh 2001).



Desde el punto de vista químico se expresa como solución molar o concentrada que es el número de átomos, o equivalentes, de una sustancia disuelta, contenidos en una unidad de volumen de la solución. Cuando se emplea el mol debe especificarse si las cantidades elementales son átomos, moléculas, iones, electrones u otras partículas, expresada en gramos (Baixauli y Aguilar 2002).

Para Samperio Ruiz (1997) un mol es la disolución de 1 gramo de un elemento en 1 litro de agua, por ejemplo se diluyen en 1 litro de agua 100 gramos del compuesto, dará una solución con una concentración de 1 mol. Pero como estas concentraciones son muy altas para usarlas, se utilizan soluciones milimolares.

Uno de los principales atractivos con que cuenta la Hidroponía es la adaptación de las diferentes especies de cultivo a las soluciones nutritivas. La composición y correcto balanceo de las soluciones es un punto importante en el éxito de las cosechas. Las soluciones deben contener todos los nutrientes que cada especie cultivada normalmente extrae del suelo (Bedoya Justo s,f).

Generalmente se preparan soluciones concentradas, las que son llamadas Solución concentrada A y Solución concentrada B; las cuales, la Solución A aporta a las plantas los elementos nutritivos que ellas consumen en mayores proporciones (macro nutrientes) y la Solución B aporta, en cambio, los elementos que son requeridos en menores proporciones (micronutrientes). El propósito de separar los fertilizantes en dos grupos se basa en reacciones de ciertas sales que forman compuestos de muy baja solubilidad y por lo tanto precipitan (FAO 1993). De estas soluciones se toman pequeñas dosis, para ser diluidas en cantidades específicas de agua y esta última preparación será la solución nutritiva que se aplicara a las plantas para su alimentación (INIA 2003).

La Solución mili molar al igual que la solución concentrada esta es expresada bajo el término químico como solución milimolar (mmol) que es la milésima parte del mol, o sea, la masa de una partícula elemental expresada en miligramos. Las formas en que puede medirse o expresarse las concentraciones de los iones en la solución nutritiva o agua de riego son: La concentración milimolar; es que en lugar de diluirse en un litro de agua, se diluirán en 1,000 litros de agua (Samperio Ruiz 1997). También puede expresarse como miliequivalente (meq) que es el resultado de dividir la masa atómica de un átomo o la masa molar de un radical iónico expresado en miligramos, entre la valencia del átomo o del radical. Así mismo las partes por millón (ppm) expresa la concentración de una partícula elemental. En soluciones

nutritivas suele significar los miligramos de una sustancia concentrada en un litro de agua (Baixauli y Aguilar, 2002), es decir, ppm=mg/litro = gr/1000 litros. (Baixauli y Aguilar, 2002).

Una solución nutritiva es agua, más los elementos esenciales que necesitan las plantas disueltos en ella y las burbujas de aire que permiten la respiración de las raíces. Esta es la parte fundamental de la hidroponía, ya que de ella depende, la cantidad y la calidad de la producción a obtener (INIA 2003).

### **2.8.6 Factores que afectan la asimilación de nutrientes.**

La absorción de sales depende de la temperatura, al aumentar esta en un rango fisiológico aumenta la absorción hasta alcanzar un máximo a la temperatura óptima, por encima de la cual disminuye, hasta que se hace inhibitoria alrededor de los 40 °C, por efecto de la inactivación enzimática, por destrucción de la estructura terciaria de las moléculas proteicas. Al disminuir la temperatura se retarda el proceso de absorción activa, ya que las bajas temperaturas afectan la actividad metabólica celular (Netto sf).

#### **2.8.6.1 Contenido hídrico o Nivel de humedad**

El contenido hídrico o nivel de humedad es una fase líquida de la solución del suelo que contiene disueltos nutrientes minerales y actúa como el medio para el movimiento de iones hacia y desde las raíces. Las variaciones en el contenido de agua del suelo pueden tener una gran influencia sobre la absorción de nutrientes. El efecto del bajo contenido hídrico del suelo sobre la absorción puede deberse tanto a la menor disponibilidad de nutrientes como al menor crecimiento de raíces con la consiguiente restricción del volumen de suelo explorado, como a un cambio en la funcionalidad de las raíces (Netto sf).

Es el suministro a las raíces de aireación disuelto en la solución del suelo es esencial para la respiración celular que es la fuente de energía metabólica utilizada en los procesos activos de transporte de nutrientes a través de la membrana y para el mantenimiento de la integridad de ésta. La concentración de oxígeno en la atmósfera edáfica modifica la tasa de absorción de nutrientes, observándose diferencias específicas en cuanto a sensibilidad a este factor (Netto sf)

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

Además se hace referencia a otros factores que se toman en cuenta al preparar la solución nutritiva, entre ellos tenemos: La relación que existe entre los cationes y los aniones, esto es el balance entre cargas positivas y negativas; el pH (acidez del medio), temperatura del agua y la conductividad eléctrica (por medio de ella se estima la concentración de nutrientes en la solución) (INIA 2003).

La técnica de hidroponía se basa en formular soluciones milimolares o solución nutritivas, en las que existen dos clasificaciones: las formulas comerciales balanceadas, que vienen preparadas para las diferentes fases fenológicas de los cultivos y las que se elaboran a base de materias primas (sales inorgánicas) (INIA 2003). Las plantas bajo la técnica de hidroponía es suplir totalmente los nutrientes en todo el ciclo del cultivo en cantidades pequeñas diluidas en agua, es decir en partes por millón (ppm) del elemento por litro de agua según el cuadro 10 (California Fertilizer Association. 1995).

**Cuadro 10.** Niveles aceptables en mg/ l (ppm) de cada elemento en una solución nutritiva y principales formas de absorción.

<b>Elemento</b>	<b>Mg /l (ppm)</b>	<b>Peso atómico</b>	<b>Forma de absorción</b>
<b>N</b>	150-250	14.1	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
<b>P</b>	20-60	30.97	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , HPO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
<b>K</b>	200-300	39.10	K <sup>+</sup>
<b>Ca</b>	120-200	40.08	Ca <sup>+</sup>
<b>Mg</b>	30-50	24.31	Mg <sup>++</sup>
<b>S</b>	50-100	32.06	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
<b>B</b>	0.3-0.6	10.81	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>
<b>Cu</b>	0.5-2	63.54	Cu <sup>++</sup>
<b>Fe</b>	0.5-0.8	55.85	Fe <sup>++</sup>
<b>Mn</b>	0.01-0.06	54.94	Mn <sup>++</sup>
<b>Mo</b>	0.1-0.3	95.94	MoO <sub>4</sub> , HMoO <sub>4</sub>
<b>Zn</b>	0.1-0.3	65.37	Zn <sup>++</sup>
<b>Cl</b>	50-10	35.45	Cl <sup>-</sup>
<b>Na</b>	50<	22.99	Na <sup>-</sup>

**Fuente:** INA 2003

Se debe respetar los rangos que se muestran en el cuadro 10, para la solución nutritiva para el uso de las materias primas (sales inorgánicas).

#### **2.8.6.2 Conductividad Eléctrica (dSm-1)**

Es considerada una propiedad química y se refiere a la concentración de las sales solubles presentes en la solución del sustrato. Sin embargo, desde el punto de vista de su determinación esta propiedad considera aspectos físicos, ya que al medir la conductividad eléctrica de un sustrato permite determinar la concentración de iones en el líquido (Patrón Ibarra 2014).

La conductividad eléctrica (C.E) mide la concentración de sales disueltas en el agua y el valor se expresa en milisiemens (mS/cm), este valor multiplicado por un factor de corrección 0.7 ó 0.9 en función de la calidad del agua, permite conocer de forma aproximada la cantidad de sales disueltas en g/l. La C.E expresa la capacidad para conducir la corriente eléctrica (Baixauli y Aguilar 2002).

La efectividad del uso de este estimador, la conductividad eléctrica (C.E), se basa en el concepto de la proporcionalidad de la conductividad eléctrica en relación a la concentración de sales disueltas (Carrasco 1996).

La unidad de la conductividad eléctrica (C.E), es el milisiemens (mS/cm), anteriormente conocido como milimhos (mmho), pero en hidroponía para fines prácticos, se trabaja con el factor de conductividad (Fc), que se define como:

Factor de conductividad (Fc)=C.E (mS/cm) x10, es decir, un Fc=20 equivale a 2 mS/cm.

El rango de conductividad eléctrica usualmente requerido para un adecuado crecimiento del cultivo, se encuentra entre un Fc de 15 a 30, la utilización del valor inferior de este rango o uno superior dependerá de la especie y sus requerimientos (Carrasco 1996).

Tan importante es conocer la conductividad eléctrica (C.E) de un agua de riego o de una solución nutritiva, como la concentración de sus iones, puesto que los puede haber en niveles de concentración que pueden resultar fitotóxico. En general, se puede decir que el agua es de buena calidad cuando su valor de conductividad eléctrica es inferior a 0.75 mS/cm, permisible con valores de 0.75 a 2 mS/cm, dudosa con valores entre 2 y 3 mS/cm, e inadecuada cuando la conductividad eléctrica es superior a 3 mS/cm. Por otra parte, los cultivos hortícolas son más o menos resistentes a la salinidad y así tenemos que: el tomate,

el melón, sandía, berenjena son cultivos medianamente tolerantes a la salinidad; la fresa es sensible (Martínez de la cerda *et al.*, sf.).

Los iones disueltos están formados por: aniones, que son los iones de carga negativa y los cationes, que son los de carga positiva. Puesto que la electronegatividad de la solución nutritiva se mantiene siempre, la sumatoria de las concentraciones de aniones y cationes expresadas en meq/l., deben ser 0 ó <5%. La relación entre la conductividad eléctrica y la suma de aniones o cationes en meq/l. debe ser aproximadamente 10. Esta relación es más baja en aguas que predominan los sulfatos y/o bicarbonatos y mayor de 10 cuando predominan los cloruros (Cuadro A-11) (Patrón Ibarra 2014).

#### **2.8.6.3 Reducción de Rendimiento por Efecto de salinidad.**

El siguiente cuadro A-12 y cuadro A-13 se presenta las pérdidas de rendimiento de algunos cultivos, asociadas a la conductividad eléctrica presente en el suelo y el agua de riego

En el cuadro A-12 se muestran los rangos permisibles de conductividad eléctrica de cada cultivo en relación a rendimiento; para la papa es de 1.1 a 1.7 de la Conductividad Eléctrica (C.E). Además, es importante que conforme se incrementa la conductividad eléctrica afecta el rendimiento de los cultivos y varía dependiendo del cultivo, esto quiere decir, que si la conductividad eléctrica del agua está por encima de lo recomendado se reducirá el rendimiento conforme aumente la conductividad eléctrica (Martínez de la Cerda *et al.*, s.f.).

Cuadro A-13 bajo condiciones de seguía o riegos deficitario, la acumulación de sales en la superficie de los suelos aumenta, esto debido al agua aplicada en el riego, no es capaz de lavar el exceso de sales (SQM, sf).

En el cuadro A-14. Se presenta la tolerancia de los cultivos en función del valor umbral de Conductividad Eléctrica medida en el extracto de saturación (CEe), a partir del cual comienza a reducirse la producción significativamente y también del grado de reducción de la producción en función del aumento de la salinidad en el suelo. El cual, la conductividad eléctrica límite debe mantenerse, si se pasa el cultivo comienza a perder productividad por la salinidad y pendiente de la recta (pdte) indica el porcentaje de pérdida de producción al cultivo en función del aumento de la salinidad (Glenn *et al.*1999.).

#### **2.8.6.4 El potencial de Hidrogeno (pH)**

Es cualquier medio líquido que posee la presencia de iones H<sup>+</sup> que determina la reacción ácido-básica de este medio, expresado por el pH; este se define como el logaritmo de la

inversa de la actividad de los iones  $H^+$  en el medio. Se puede decir que el pH es una medida de la concentración en iones de  $H^+$  (Patrón Ibarra 2014).

El pH de una solución nutritiva marca el carácter ácido o básico, e influye sobre la solubilidad de los iones. La mayor parte de las plantas trabajan bien en soluciones nutritivas con pH comprendidos entre 5 y 7, en los cultivos hidropónicos generalmente se trabaja con pH de 5.5 a 5.8, puesto que en dicho rango de pH se encuentran mejor disueltos los iones, especialmente el fósforo y los micro elementos (Baixauli y Aguilar 2002).

Las sustancias que son capaces de liberar iones ( $H^+$ ) (protones) son ácidas y las que pueden liberar  $OH^-$  dan reacciones básicas. El ácido nítrico tiene reacción ácida puesto que libera  $H^+$  (De la Cruz Villanueva 2011).

El medio ácido lo encontramos cuando la concentración de protones es superior a la de grupos hidroxilo y el medio será básico cuando sucede el caso contrario (De la Cruz Villanueva 2011).

El pH actúa manteniendo los iones solubles para la planta y por tanto, mejorando la nutrición. Valores extremos pueden provocar la precipitación de los iones. Con un pH superior a 7.5 puede verse afectada la absorción de fósforo, hierro y manganeso, la corrección del pH puede evitar los estados carenciales (Baixauli y Aguilar 2002).

El valor de pH a utilizar en la solución nutritiva se recomienda trabajar en pH de 5.5-6.5 ya que en este rango la planta asimila fácilmente y los elementos se encuentran solubles (Fig. A-10), si el pH está por encima de siete, la mitad del hierro se encuentra no disponible para la planta, formando  $Fe(OH)$  precipitado, a no ser que el hierro se encuentre en forma de quelato. Por debajo de 6.5, el hierro se encuentra disuelto. El manganeso se ve reducido su solubilidad con niveles de pH altos (De la Cruz Villanueva 2011).

Este parámetro debe controlarse para mantener disponibles los elementos nutritivos en la solución nutritiva es el pH; las correcciones generalmente se realizan para acidificar la solución al rango óptimo ya antes mencionado. Para disminuir el pH se debe agregar una solución ácida, la cual se compone de una mezcla de ácido nítrico ( $HNO_3$ ), y ácido orto fosfórico o ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) (Samperio Ruiz 1997).

## **2.9 Producción de semilla**

Para obtener semilla de calidad es necesario cumplir con ciertos requisitos antes y después de la siembra para garantizar a los usuarios de semillas, un producto sano y de calidad, que

muestre las condiciones genéticas, físicas, fisiológicas y sanitarias que en condiciones adecuadas reproduzcan las características y el potencial de la variedad. (Ponce y Gordillo sf.).

### **2.9.1 Criterios de semilla de calidad**

Se considera un tubérculo de calidad cuando su forma y color propio de la variedad, sin mezclas; libre de plagas y enfermedades, sin rajaduras y daños mecánicos; tubérculos hayan alcanzado su madurez fisiológica (Ponce y Gordillo sf.).

### **2.9.2. Categorías de las semillas de papa**

Las semillas tienen cinco categorías en base a su proceso de limpieza, empezando por la semilla categoría pre-básica que se le obtiene por medio de laboratorio de cultivo de tejidos, mediante normas estrictas de sanidad (Ponce y Gordillo sf.).

Bajo este esquema de producción de semilla de papa en forma de clones (donde su patrón genético no se modifica ni altera por un cruce de dos individuos), se puede trabajar con plantas puras, como las obtenidas en cultivos in vitro (INIAP 2001).

Las categorías de las semillas de papa son;

Pre-básica: Son las semillas producidas en invernaderos, también denominadas mini tubérculos, provenientes de plántulas, producidas a partir de plántulas in vitro, y generadas en el laboratorio de cultivo de tejidos. Libre de plagas y enfermedades, virus y nematodos, se siembra bajo estrictas normas de limpieza y control en invernaderos. Además esta semilla no está disponible al productor debido a su alto costo, la básica semilla producida en casa malla y campo, a partir de semilla pre-básica. Puede mantener su categoría hasta tres generaciones, si las condiciones de manejo fitosanitario de las plantas en las casas mallas lo permiten. Parte de tubérculos obtenidos mediante el cultivo de plantas pre-básica se siembra en campos que cumplen con todas las normas de saneamiento, libre de plagas, enfermedades, virus y nematodos. Por su costo no es accesible a productores. La semilla registrada es la producida a partir de la semilla básica. Por lo general, su multiplicación es en campo abierto. Se siembra en lotes libres de plagas y enfermedades pero no tan exigentes como en las categorías anteriores, además tienen algunos parámetros permitidos en cuanto a plagas y enfermedades que atacan al tubérculo. La semilla certificada es la producida a partir de semilla registrada. Su multiplicación es en campo abierto, bajo estrictas condiciones técnicas y con supervisión de un ente regulador (INIAP 2001). Esta se siembra en lotes de agricultores semilleristas que cumplen con los requisitos establecidos por el control interno de calidad, es producida solamente por semilleristas certificados; esta semilla puede ser

reutilizada en campos de agricultores hasta tres veces si presentan buenas características (Ponce y Goridillo sf).

Seleccionadas: producción de semilla-tubérculo a partir de semilla certificada, que haya presentado buenas condiciones fitosanitarias y de rendimiento. Esta semilla es manejada por productores de papa (INIAP 2001).

### **3 MATERIALES Y MÉTODOS**

En este apartado se describen los materiales y metodologías empleados durante el desarrollo del trabajo de investigación. De igual manera se hace una descripción general de las técnicas e instrumentos utilizados.

#### **3.1. Descripción del estudio**

La investigación se realizó en la Universidad de El Salvador (UES), Facultad de Ciencias Agronómicas, en las instalaciones del vivero, Departamento de San Salvador en el período comprendido de Octubre 2015 a Marzo 2016, siendo sus coordenadas geográficas, las siguientes: Latitud 13°43'7.68" N y Longitud 89°12'1.53" W y las condiciones climáticas son: temperatura promedio 24.2°C, precipitación 1,695 mm, humedad relativa del 76 %, y una radiación solar promedio de 5.20kw/m<sup>2</sup>/día (kw=kilocalorías) con 8.2 horas de sol promedio al día con una elevación 750 msnm, (SNET,2015 ).

El invernadero tiene una forma semicircular con dimensiones de cinco metros de ancho por diez metros de largo, haciendo un área de 50 metros cuadrados con una altura lateral de 2.50 m y una altura central de 3.20m, cubierta con un techo de plástico ultravioleta de 180 micrones, los laterales con malla antiviral de 120 mesh. Además el invernadero consta con un sistema de riego por goteo y nebulizadores (Fig A-11.).

Para el uso del invernadero posteriormente se realizó un lavado del invernadero tanto externo como interno, aplicación de fungicidas en el piso, encalado del techo externo como interno con una relación de dos libras de cal por cuatro galones de agua, ubicación de tarimas de 20 cm de alto por 50 cm de ancho, para la instalación de las macetas, limpieza del sistema de riego, mezcla de sustratos (piedra pómez y fibra de coco) con una relación de 1: 1, llenado de las macetas con el sustrato, desinfección de sustratos y macetas, aforo del sistema de riego, programación de la bomba del sistema de riego, registro de temperatura y humedad relativa (microclima).



## **3.2. Metodología de campo**

### **3.2.1. Aclimatización de plantas In vitro**

Las plantas in vitro de papa fueron obtenidas mediante la técnica de cultivo de tejido, provenientes de segmentos nodales con una altura de 3 a 4.5 cm siendo estas producidas por el laboratorio de Biotecnología del Departamento de Fitotecnia.

Para su aclimatización se preparó un microtúnel (Fig A-12) el cual fue elaborado con alambre, mesas de madera con un largo de 3.70 metros y un ancho de 0.37 metros, tela gril y malla saran 50%, donde pasaron las plantas In Vitro en condiciones de 100% de humedad relativa, por quince días para su adaptación el cual consistió en ir destapando el micro túnel poco a poco. Una vez elaborado el micro túnel, se preparó una solución de fungicidas (Mancozeb) aplicando 10 g por litro de agua y se colocó las bandejas en unas cajas de durapax con dos litros de sustrato, el cual pasaron así por 24 horas. Luego se llenaron las bandejas con sustrato estéril para el trasplante de las plantas in vitro (Fig A-13), para luego ser trasladado al micro túnel.

Para el manejo de las plantas In Vitro se fertilizaban con la solución nutritiva con una conductividad eléctrica (C.E) de 0.80 mS/cm y un pH de 6.00.

Al ir finalizando el tiempo requerido para la aclimatización se cambió la forma de fertilizar de irrigación a sub irrigación (Fig A-14), se colocaron las bandejas con tres litros de solución nutritiva cada una; manteniendo la misma CE y pH de la solución inicial.

A su vez se utilizó fertilizante enraizador con dosis de cinco gramos por litro de agua, colocándose 2.5 litros por bandeja y se dejó por 12 horas.

## **3.3. Establecimiento y Manejo del cultivo**

### **3.3.1. Preparación de sustrato**

Esta labor consistió en la mezcla de fibra de coco con piedra pómez, con una relación de 1:1, luego se llenó cada maceta con un volumen de 2.5 y 4.5 litros de sustrato y se realizó su desinfección de estas con Methan sodium utilizando 800ml diluido para cada maceta (Fig.15).

### **3.3.2. Trasplante de planta In Vitro.**

Previo al trasplante se realizó un riego sobre las bandejas a modo de humedecer el sustrato con la finalidad de facilitar la extracción de la plántula con su respectivo pilón (FigA-16), las plántulas fueron colocadas en las macetas con capacidad de 5 litros y forma cilíndrica (FigA-17). Posteriormente se realizó un riego para evitar el estrés hídrico y pérdida de plantas.

### 3.3.3. Fertilización

Para la fertilización del cultivo de papa, bajo la técnica de hidroponía, se emplearon el uso de sales inorgánicas. Para la preparación de solución molar se eligieron aquellas formulaciones que presenten la más alta solubilidad a fin de brindar mayor disponibilidad de nutrientes minerales a las plantas, considerando los niveles del balance de iones (aniones y cationes), pH y C.E. siendo utilizado el cuadro 15. Para obtener tres soluciones concentradas.

**Cuadro15.** Sales minerales para la preparación de soluciones concentradas en cuatro litros.

Solución Concentrada	Nombre de la sal	Fórmula Química	Gramos / 4 litros	Orden de mezcla de sales
A (2)*	Fosfato mono potásico	$\text{KH}_2\text{PO}_4$	200	2
	Nitrato de potasio	$\text{KNO}_3$	464	1
	Sulfato de magnesio	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	428	3
	Ácido bórico	$\text{H}_3\text{BO}_3$	4	1
	Sulfato de manganeso	$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	2.5	3
	Sulfato de Cobre	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.5	2
	Sulfato de Zinc	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	1.2	4
B (1)*	Molibdato de amonio	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo} \cdot 7\text{H}_2\text{O}_{24}$	0.02	5
	Quelato de hierro	FeEDTA	8.46	6
C (3)*	Nitrato de calcio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	680	

**Fuente:** INA 2003

Para la preparación de solución nutritiva o milimolar se inicia con la elaboración de las soluciones concentradas tomando volúmenes determinados de cada uno de ellos para ser diluidos en cantidades específicas de agua; respetando los niveles aceptables en mg/Litro (ppm) de cada elemento en la solución nutritiva. Además se consideraron los parámetros físicos-químicos de pH y conductividad eléctrica de 1.00mS/cm incrementándose hasta 1.7 mS/cm. Para ello se utilizó un volumen determinado de agua midiéndose el pH y conductividad eléctrica con el Conductivímetro, con la finalidad de determinar la acidez o alcalinidad y la cantidad de sales disueltas en el agua registrando los siguientes valores: pH= 7.40 y CE= 0.78mS/cm.

\* Los números que se encuentran entre paréntesis de cada una de las soluciones (A, B y C) corresponden al orden de disolución en agua que se debe seguir

Para lograr el valor asignado de pH, se utilizó ácido fosfórico al 80%. Y para la conductividad eléctrica se adicionaron los volúmenes respectivos de cada una de las soluciones concentradas. Para la producción de semilla pre-básica de papa en cultivos protegidos, su C.E. es de 1 -1.70

**Cuadro 16.** Programa de nutrición más riego en hidroponía:

Semana* <sup>1</sup>	Conductividad (CE)	ml/ por planta**	Días Fertilizados	Total ml por semana	Veces por día
1	1.00	50	5	250	1
2	1.10	50	5	250	1
3	1.20	70	5	350	1
4	1.30	70	5	350	1
5	1.40	90	5	450	1
6	1.50	90	5	450	1
7	1.60	100	5	500	1
8	1.70	100	5	1000	2
9	1.70	100	5	1000	2
10	1.70	100	5	1000	2
11	1.60	100	5	1000	2

La cantidad de agua (solución nutritiva) para el ciclo productivo de la papa utilizando las dosis del cuadro anterior, siendo un total de 633.60 litros, para 96 plantas de papa.

### 3.3.4. Monitoreo de plagas y enfermedades:

La finalidad es conocer el estado fitosanitario del cultivo, la evolución de la plaga y su población. Controlar la efectividad de las medidas adoptadas en el caso de efectuarse después una medida de control, se realizó un monitoreo frecuente, con la finalidad de prevenir ataques. La medidas de control bajo el método químico tal como se detalla en el cuadro 17 (Fig A-18).

**Cuadro 17** Programa Fitosanitario del cultivo de papa

*OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE			
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4

\*Estas comenzaron a partir después del trasplante de las plantas In Vitro \*\*Los volúmenes de ml /planta estos se basaron a ensayos

preliminares\*\*\* La fertilización se realizó de forma manual hasta completar el ciclo productivo de la papa

Cuadro 17 el color amarillo Insecticidas (dismetrina, con dosis de 5ml por litro de agua), Color celeste Fungicidas (mancozeb, con dosis de 5 g por litro de agua), el verde foliar (con dosis de 5g por litro de agua), Morado la aplicación de azufre en polvo contra ácaros.

### 3.3.5. Aporco del cultivo de papa

Esta labor dio inicio a los 21 días de haberse trasplantado, en este caso consistió en ir agregando sustrato a la maceta a modo de completar los volúmenes de 2.5 y 4.5 litros de sustrato en base a fenología, siendo así dos veces a intervalos de tres semanas.

### 3.3.6. Proceso de curado o poda del cultivo de papa

Esta consistió en podar la planta dejando el tallo a una altura de 5 a 10 cm sobre el suelo (Fig A-19), con la finalidad de que el tubérculo permanece dentro del suelo sin riego y fertilización durante 10 a 15 días, a modo de lignificar la cascara del mini tubérculo.

### 3.3.7 Cosecha

La cosecha se realizó en base a los siguientes criterios: Madurez fisiológica, la planta comienza amarillarse, siendo recomendable cortar los tallos (curado) para una cosecha uniforme de los mini tubérculos, Ciclo de cosecha fluctúa entre los 90 a 120 días, dependiendo de las variedades, muestreo a nivel de suelo.

## 3.4. Metodología Estadística

### 3.4.1 Diseño de la Investigación:

Se utilizó el diseño bloques al azar con arreglo bifactorial con seis tratamientos y cuatro bloques

**Modelo matemático:**  $Y_{ijk} = \mu + R_i + A_j + B_k + (AB)_{jk} + e_{ijk}$  En donde

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

$\mu$  = Es la media general

$R_i$  = es el efecto debido al i-ésimo bloque o réplica

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

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

$(AB)_{ij}$  = efecto de la interacción entre el K-ésimo nivel del factor B y el J-ésimo del factor A

$e_{ijk}$  = es el error experimental

**Cuadro 18.** Estructura del análisis de varianza (ANVA)

Fuente de variación (F.V)	Grados de Libertad (G.L)	Suma de Cuadrados (S.C)	Cuadro medio (C.M)	F calculada (F <sub>cal</sub> )
BLOQUES	n-3	$\sum_{k=1}^n .k/ab -FC$	$\frac{S.C.REP}{n-1}$	$\frac{S.C.REP}{CME}$
TRATAMIENTO	ab-1	$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y^2_{ij}/n-FC$	$\frac{S.C.TRAT}{ab-1}$	$\frac{S.C.TRAT}{CME}$
Factor A (Variedades)	a-1	$\sum_{i=1}^a y^2_{i..k}/bn -FC$	$\frac{S.C.A.}{a-1}$	$\frac{S.C.A}{CME}$
Factor B (volúmenes)		$\sum_{j=1}^b y^2_{.j}/an -FC$	$\frac{S.C.B.}{b-1}$	$\frac{S.C.B}{CME}$
INTERACCION (AxB)	(a-1)(b-1)	SC <sub>subtotal</sub> - (S.C.A.+S.C.B)+S.C.REP	$\frac{S.C.AxB}{(ab-1)(b-1)}$	$\frac{S.C.AxB}{CME}$
Error Experimental	(ab-1)(n-1)	Diferencia	$\frac{S.C.ERR.}{(ab-1)(N-1)}$	
Total	Abn-1	$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y^2_{ijk} -FC$		

**Fuente:** Nuila de Mejía (1990)

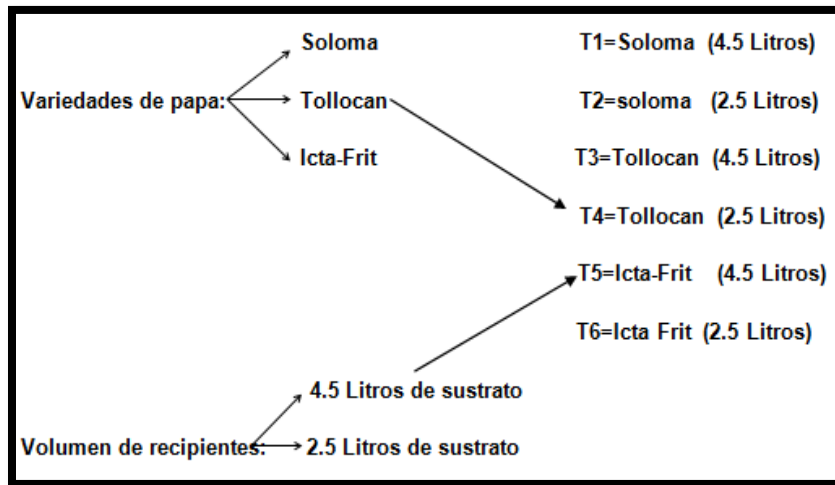
La prueba estadística que más se ajustó al diseño es la prueba de comparación de medias Tukey con un nivel de confianza del 1%.

Población y muestra: La investigación se realizó con 96 Plantas de papa, la unidad experimental se representó por una planta por maceta, distribuidos en cuatro bloques al azar bajo condiciones protegidas.

### 3.4.2 Tratamientos evaluados

Los tratamientos fueron las tres variedades de papa (Tollocan, Icta-Frit y Soloma) y dos volúmenes de sustrato (2.5 L y 4.5 L), siendo estas identificadas como T1= Tollocan con 4.5 litros de sustrato, T2= Tollocan con 2.5 litros, T3=Soloma con 4.5 litros, T4= Soloma con 2.5 litros, T5=Icta Frit con 4.5 litros y T6=Icta Fritcon 2.5 litros, haciendo un total de seis tratamientos.

Diagrama de tratamiento



### 3.5. Variables a evaluadas

#### 3.5.1. Morfológicas

Estas variables fueron en todo su ciclo vegetativo

**Altura de planta:** Para la medición de la variable altura de planta, se evaluó el crecimiento vertical de estas, en cada tratamiento, se efectuaron 10 mediciones durante toda la investigación. En cada bloque se tuvieron 8 plantas por tratamiento, siendo un total de 24, las cuales se midieron desde la base del tallo (a nivel de sustrato) hasta el ápice de la planta. (Fig A-20).

**Diámetro de tallo:** Esta variable fue considerada debido al crecimiento de la planta y conocer el grosor de esta, la cual fue medida con el instrumento pie de rey, se efectuaron tres mediciones durante toda la investigación. En las mediciones de cada bloque se tuvieron ocho plantas por tratamiento, siendo un total de 24 plantas, las cuales se midieron cada tres semanas, y estas fueron medidas a una altura de 10 cm desde la base del tallo (Fig. A-21)

**Número de hojas:** Para la medición de esta variable, se realizó un conteo de las hojas que crecían del tallo principal, se efectuaron 10 tomas de datos durante toda la investigación. En la que cada bloque se tuvo 8 plantas por tratamiento, siendo un total de 24, las cuales se realizó cada ocho días.

**Número de brotes:** se tomó en cuenta a partir de que comenzaron a brotar los tallos que unos fueron a la tercera, otras a la quinta semana. Contabilizando así los brotes por planta.

### **3.5.2 Producción**

Estas variables surgieron en la etapa productiva en base a conocer cantidad de mini tubérculos por planta

**Número de mini tubérculos por planta:** Para la medición de esta variable se contó el número de mini tubérculos que se produjo.

**Peso de los mini tubérculos:** Para el análisis de esta variable se pesó cada uno de los mini tubérculos cosechados, y se sumaron el número de tubérculos por las 4 macetas que se encontraba en cada tratamiento y este fue dividido entre 4; luego se sumaron todos los promedios que correspondiente a los diferentes volúmenes por variedad (Fig 22).

**Longitud y diámetro de los mini tubérculos:** en esta se midió cada uno de los mini tubérculos midiéndose tanto la parte ecuatorial como discal con el instrumento pie de rey Como se muestran en las Fig A-23 y Fig A-24.

### **PLANO DE CAMPO**

En la figura A-25, se muestra la forma de distribución de los tratamientos en estudio en base al diseño estadístico Bloques completamente al azar con arreglo bifactorial y su simbología en el cuadro A-19.

## **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Las plantas a partir de su nacimiento hasta su muerte o desde su brotación hasta la maduración del fruto, el crecimiento y desarrollo del tubérculo de papa ocurre a través de una serie de fases y etapas fenológicas, controladas por factores genéticos, meteorológicos (temperatura, radiación, precipitación, evaporación .etc.) y su interacción, dentro de ciertas etapas de desarrollo se presentaron periodos críticos, que son intervalos breves durante los cuales la planta presentó la máxima sensibilidad a determinados elementos, de manera que las oscilaciones en los valores de las variables meteorológicas se reflejan en el rendimiento del cultivo (Kolbe y Stephan-Beckmann, 1997).

#### 4.1 Fenología del cultivo

Una fase fenológica es el período durante el cual aparecen, se transforman o desaparecen los órganos de las plantas. También puede entenderse como el tiempo de una manifestación biológica. La mayoría de estas fases son visibles en casi todas las plantas.

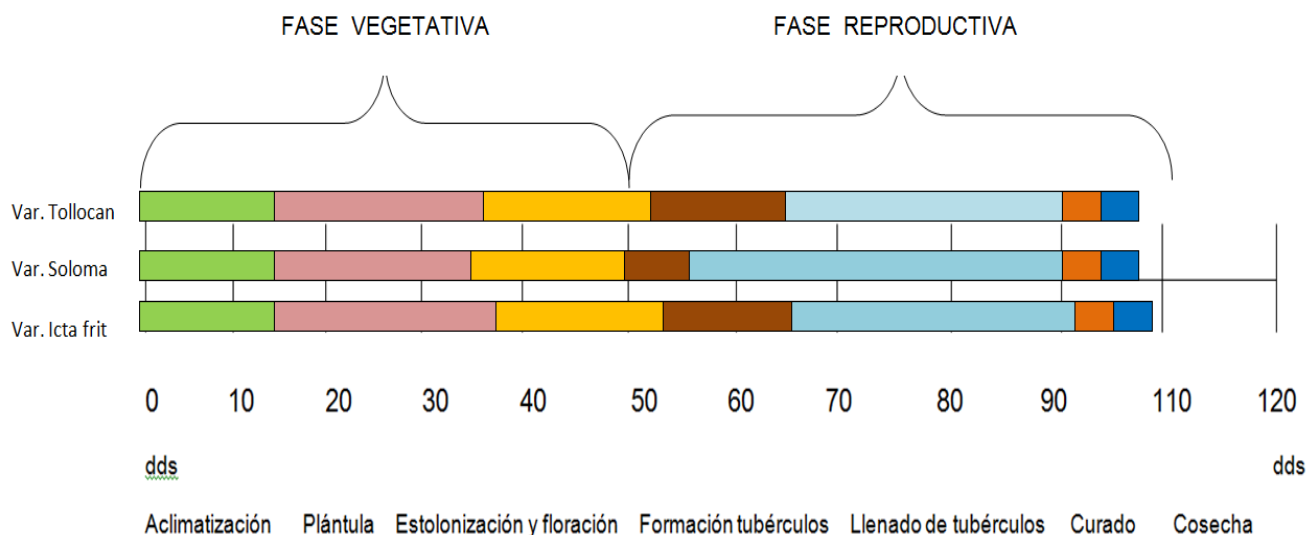
En la investigación se identificaron las etapas fenológicas siguientes:

- |                               |   |            |
|-------------------------------|---|------------|
| 1. Fase de plantin            | } | (etapa I)  |
| 2. Fase de Plántula           |   |            |
| 3. Formación de estolones     | } | (etapa II) |
| 4. Inicio tuberización        |   |            |
| 5. Desarrollo de tuberización | } | (etapa IV) |
| 6. Floración                  |   |            |
| 7. Maduración                 | } | (etapa V)  |

En la **etapa I** en las plantas in vitro se compone desde la aclimatización (15 días lo más recomendable) hasta el momento del trasplante siendo su duración de 35 días. **Etapa II** es el desarrollo de los tallos aéreos, formación y elongación de los estolones esta etapa va desde los 36 a 50 días. **Etapa III** se refiere al Inicio de la tuberización la cual va desde los 50 a 60 días. **Etapa IV** es el desarrollo del tubérculo o llenado del mismo, floración, siendo desde los 60 hasta 90 días. Etapa V la maduración fisiológica (cosecha) que va desde los 90 a 110 días.

La fenología del cultivo se utiliza para conocer cuando una planta comienza su formación de frutos y cuando esta ha alcanzado su madurez fisiológica. Las etapas fenológicas se obtuvieron a través del ensayo que se montó en la Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador obteniendo su etapa de formación de los mini tubérculos a los 50 días exactos en caso de las variedades soloma y tollocan, llegando hacer de 102 días del ciclo de cosecha. Para la icta-frit puede tardar de 55 a 60 días en su formación, teniendo un margen de 107 días del ciclo de cosecha (Fig A-26). La variedad que presentó floración fue la tollocan. Las otras dos variedades no presentaron floración, la flor es un indicador diferencial entre variedades, es decir, sirven para poder identificar que variedades son en campo o invernadero.





**Fig 26.** \* Etapas fenológicas de las tres variedades de papa (Semilla pre-básica)

En la figura 26 se muestra la etapa fenológica de las tres variedades de papa, su simbología y distribución de conductividad eléctrica (C.E.) durante todo su ciclo productivo (cuadro 20)

**Cuadro 20.** Simbología y Conductividad eléctrica distribuida por fenología.

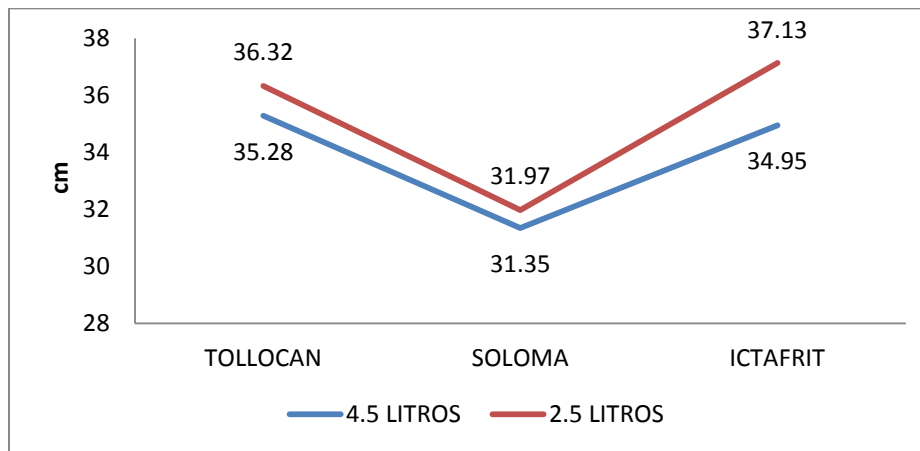
Fase fenológica	Color de cada fenología	Etapas	**Conductividad eléctrica (C.E)
Aclimatización	Verde		0.80
Plántula	Rosa	I	1-1.10
Estolonización y floración	Amarillo	II	1.20-1.30
Formación tubérculos	Marrón	III	1.40-1.50
Llenado de tubérculos	Cian	IV	1.60-1.70
Curado	Naranja		-----
Cosecha	Azul	V	-----

\*La variedad Tollocan y Soloma presentan similitud en su etapa fenológica en el tiempo de cosecha, aunque la variedad soloma puede ser precoz llegando su cosecha a los 90; en caso contrario para la variedad Icta frit esta variedad es más tardía, pero por la condición del invernadero se sacó a los 107 días. \*\*Los que se encuentran como rango significan que una semana es una C.E. por ejemplo para el caso de plántula una semana fue de 1 y la siguiente de 1.10, y los ..... no hubo fertilización

## 4.2 Altura de planta (cm)

Para la medición de la variable altura de planta, se evaluó el crecimiento vertical de estas, las cuales se midieron desde la base del tallo (a nivel de sustrato) hasta el ápice de la planta.

Para esta variable, el análisis de varianza (cuadro A-21) mostró que el factor variedad presentó diferencias altamente significativas ( $p < 0.0029$ ). La prueba de comparación de medias de tukey (Cuadro A-22), así lo demuestra, donde se identificó que la variedad Icta frit y tollocan mostraron la mejor altura de planta, no existiendo diferencia estadística alguna entre ellas, en contraposición, la variedad soloma fue quien mostró menor altura, siendo estadísticamente diferente ( $p < 0.01$ ).



**Fig. 27.** Altura de planta de las tres variedades de papa en cultivo hidropónico utilizando dos volúmenes de sustrato.

Para el factor volumen de sustrato e interacción de las variedades, el análisis de varianza no mostró diferencia estadística alguna, sin embargo, una aproximación al comportamiento de la combinación de los factores involucrados, denota, que cuando las variedades estuvieron sembradas en el volumen de 2.5 litros su comportamiento fue mejor, no obstante la variedad Soloma su comportamiento fue menor en ambos volúmenes (Fig A-22)

Aun cuando no existen diferencias estadística significativas ( $p < 0.01$ ), los resultados demuestran un comportamiento aceptable de las variedades en presencia del menor volumen de sustrato, manifestándose un aumento relativo en la variable altura de planta. Lo anterior prevalece para las variedades Ictafrit y Tollocan principalmente.

El desarrollo de la parte vegetativa de la papa es más rápido a altas temperaturas, la cual se maximiza alrededor de los 18°C (Ellisseche, 2002), en el invernadero se superan estas temperaturas.

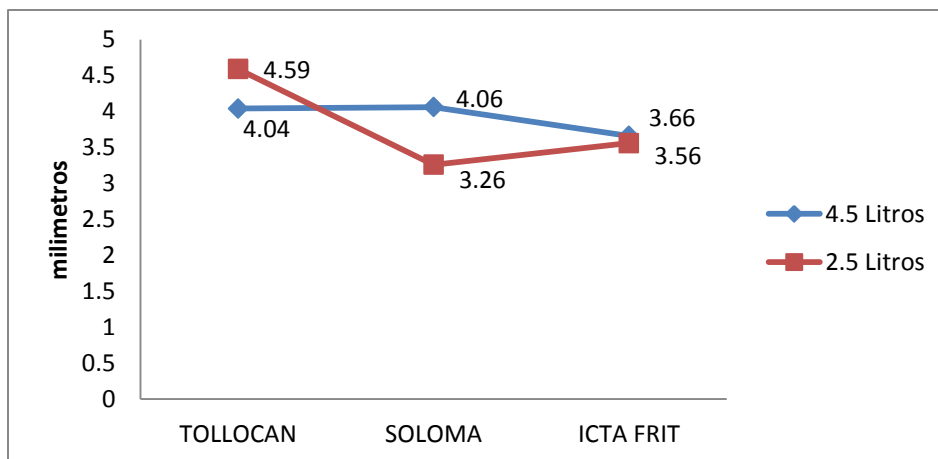
Según Otazu y Chuquillanqui, (2007) citado por Argentina Arano (2012) al evaluar tres variedades de papa mejoradas de Perú, bajo cultivo sin suelo encontró que las variedades perricholi, Canchan y Yungay para la variable altura de planta el comportamiento fue diferente según la variedad: 146.5 cm, 146.9 cm, 155.6cm respectivamente.

En la investigación al utilizar dos diferentes volúmenes de sustratos, se obtuvo que las mejores alturas se produjeron en el menor volumen (2.5 litros) obteniendo valores promedios de 37.13 cm, 36.32 cm, 31.35 cm para las variedades Icta Frit, Tollocan y Soloma respectivamente; sin embargo la altura de planta fue inferior a los mencionados en el cuadro A-3, soloma 75cm, tollocan 75 a 80 cm, icta-frit 80 a 100 cm.

#### 4.3. Diámetro de tallo

Esta variable fue considerada debido al crecimiento de la planta para conocer el grosor del tallo a una altura de 10 cm desde el nivel del sustrato.

Para esta variable, el análisis de varianza (cuadro A-25) no mostró diferencias estadísticas significativas ( $p < 0.0631$ ). La comparación de medias de tukey (Cuadro A-26), demostrando que no existe diferencia estadística alguna entre ellas.



**Fig 28.** Diámetro de tallo de las tres variedades de papa en cultivos hidropónicos

Para el factor volumen de sustrato e interacción de las variedades, el análisis de varianza no mostró diferencia estadística alguna, sin embargo, una aproximación al comportamiento de la combinación de los factores involucrados, muestra que cuando

las variedades estuvieron sembradas en el volumen de 4.5 litros su comportamiento fue mejor para las variedades Soloma y Tollocan, no obstante la variedad Icta Frit su comportamiento fue menor, principalmente en el volumen de 2.5 litros (Fig A-28).

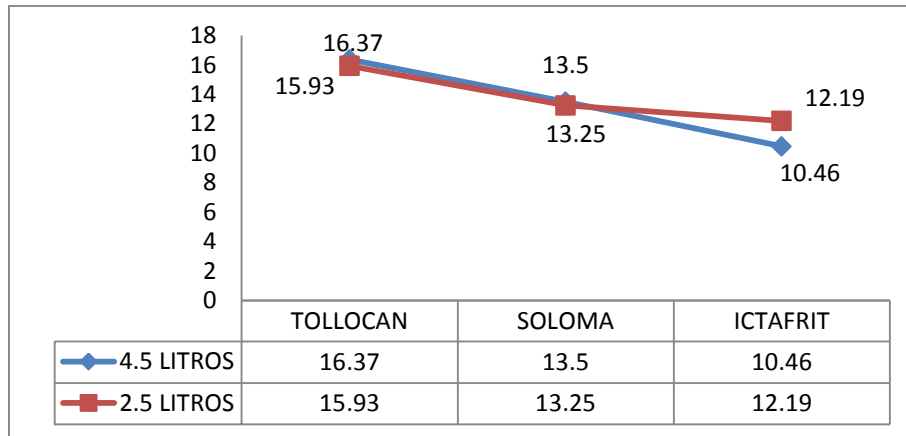
Según Paredes *et al*, (sf) en su investigación de producción de semilla pre básica de dos variedades de papa bajo diferentes sistemas de manejo, demostró que las plantas que se desarrollaron en el sistema hidropónico obtuvieron un valor de 3.68 mm de diámetro de tallo, atribuyéndolo a una mayor densidad poblacional, la competencia entre plantas por espacios físicos y nutrientes provocó que el diámetro de tallo principal disminuya, tal como lo afirma Wiersema (1987).

Pero en la presente investigación, al utilizar dos diferentes volúmenes de sustratos se obtuvo que los mejores diámetros se produjeron en el volumen mayor (4.5 Lt) obteniéndose para las variedades Soloma y Tollocan valores promedios de 4.06mm, 4.04mm respectivamente, además mencionar que se tuvo una planta por maceta, al comparar con los datos de Paredes *et al*, (sf) el diámetro de tallo fue mayor.

#### **4.4 Número de hojas**

Para esta variable, el análisis de varianza (cuadro A-29) mostró que el factor variedad presentó diferencias altamente significativas ( $p < 0.0086$ ). La prueba de comparación de medias de tukey (Cuadro A-30), así lo demuestra, donde se identificó que las variedades Tollocan y Soloma mostraron mayor número de hojas, no existiendo diferencia estadística alguna entre ellas, en contraposición, la variedad Icta Frit y Soloma quienes mostraron menor número de hojas, siendo estadísticamente diferente a la variedad tollocan ( $p < 0.01$ ).

Para el factor volumen de sustrato e interacción de las variedades, el análisis de varianza no mostró diferencia estadística alguna, sin embargo, una aproximación al comportamiento de la combinación de los factores involucrados, muestra que cuando las variedades estuvieron sembradas en el volumen de 4.5 litros su comportamiento fue mejor, no obstante la variedad Icta Frit su comportamiento siempre fue menor (Fig A-29).



**Fig. 29.** Número de hojas de las tres variedades de papa en cultivo hidropónico.

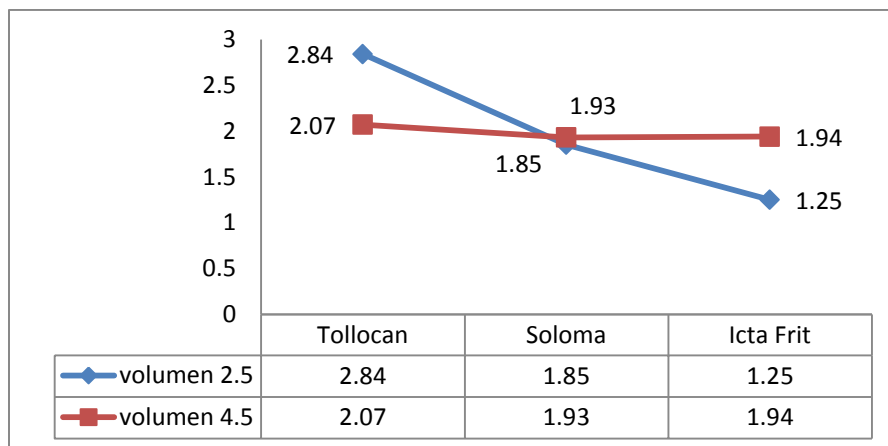
Aun cuando no existen diferencias estadísticas significativas ( $p < 0.01$ ), los resultados demuestran que prevalece un comportamiento aceptable de las variedades en presencia del mayor volumen de sustrato, manifestándose un aumento relativo en la variable número de hojas compuestas.

La formación de hojas del cultivo de papa depende de la temperatura, la expansión de las hojas también se efectúa a tasas más aceleradas cuando las temperaturas son altas, pero estas no se mantienen debido al agotamiento de las reservas de hidratos de carbonos. Según Arce (2002) la longevidad de la hoja (desde el nacimiento hasta la senescencia de una sola hoja) son también mucho más cortas a temperaturas altas y la producción de rama es reducida, lo que lleva a producción de poco follaje, lo que no es suficiente para la completa captación de la energía solar necesaria para la formación de materia seca. Aspecto que puede estar relacionado con los resultados de la presente investigación.

#### 4.5. Número de brotes

Para esta variable se contabilizó el número de brote que surgió del tallo principal a partir desde los 30 días hasta el proceso de curado.

Para esta variable, el análisis de varianza (cuadro A-33) no mostró diferencias estadísticas significativas ( $p < 0.0954$ ), para los factores principales. La prueba de comparación de medias de tukey (Cuadro A-34), así lo demuestra.



**Fig. 30.** Número de brotes de las tres variedades de papa en cultivo hidropónico

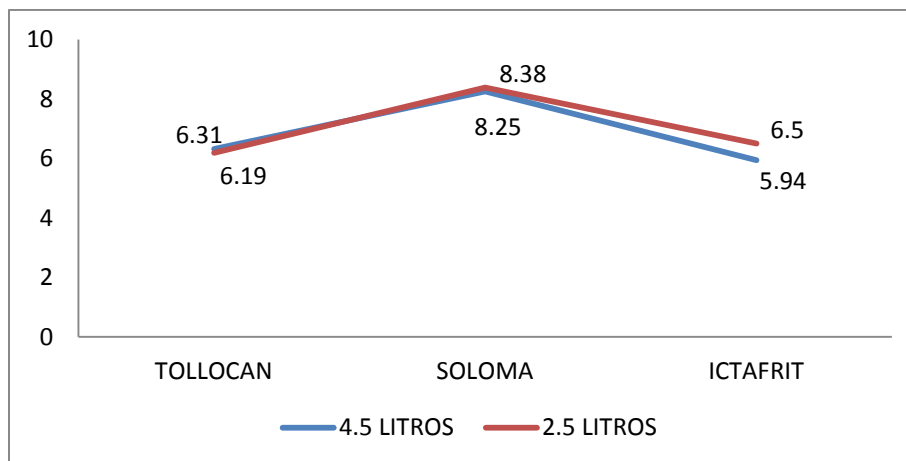
Para el factor volumen de sustrato e interacción de las variedades, el análisis de varianza no mostró diferencia estadística alguna, sin embargo, una aproximación al comportamiento de la combinación de los factores involucrados, muestra que cuando las variedades estuvieron sembradas en el volumen de 2.5 litros su comportamiento fue mejor principalmente la variedad Tollocan, no obstante la variedad Icta Frit su comportamiento fue menor en ambos volúmenes de sustrato (Fig A-30).

Sin embargo se puede citar que la variable número de brotes (tallos) se relaciona con el número de mini tubérculos, mientras más brotes tenga la planta, disminuye el número de tubérculos por brote, pero aumenta generalmente el número de tubérculos por unidad de área debido a plantas nuevas por no realizar un aporco en fecha optima (Parsons, 1984), por otra parte en la investigación la variedad Tollocan presentó el mayor número de brotes en ambos volúmenes de sustratos, pero no así para el número de mini tubérculos, al comparar estas evidencias concuerda con la disminución de mini tubérculos por brotes.

#### 4.6. Número de mini tubérculos

En la medición de esta variable se contó el número de mini tubérculos por planta

Para esta variable, el análisis de varianza (cuadro A-37) mostró que el factor variedad presentó diferencias altamente significativas ( $p < 0.0017$ ). La prueba de comparación de medias de tukey (Cuadro A-38), así lo demuestra, donde se identificó que la variedad Soloma obtuvo mayor número de mini tubérculos, existiendo diferencia estadística, en contraposición, la variedad Tollocan e Icta Frit quienes mostraron igual número de mini tubérculos, siendo estadísticamente diferente ( $p < 0.01$ ) a la variedad Soloma.



**Fig. 31.** Número de Mini tubérculos de las tres variedades de papa en cultivo hidropónico

Para el factor volumen de sustrato, el análisis de varianza no mostró diferencia estadística alguna, es decir que puede utilizarse cualquiera de los dos volúmenes de sustrato.

Según Barquero *et al* (2001) al cuantificar el efecto del tamaño de la macetas en la producción de semilla pre-básica de papa en invernadero evaluaron dos volúmenes de 1.8 y 3 Litros de sustrato para determinar el número de los mini tubérculos producidos, resultando que no existen diferencias significativas; lo que concuerda con los resultados obtenidos, ya que el volumen de sustrato no influye en la cantidad de los mini tubérculos.

Para la interacción de las variedades por el volumen, el análisis de varianza no mostró diferencia estadística, sin embargo, una aproximación al comportamiento de la combinación de los factores involucrados, muestra cuando las variedades estuvieron sembradas en el volumen de 2.5 litros su comportamiento fue mejor, no obstante la variedad Icta Frit su comportamiento fue menor en el volumen de 4.5 litros (Fig A-31).

Al respecto el crecimiento y calidad se ven influenciados por factores como: humedad, temperatura, iluminación, nutrientes. Los suministros de agua, CO<sub>2</sub>, y rendimientos son mayores cuando la humedad del suelo o sustrato se mantiene uniforme por encima del 60 ó el 70% de capacidad de campo. Para Arce (2002) la tuberización se ve afectada por el contenido de humedad del sustrato en el momento de inicio de la tuberización y generalmente hay menos tubérculos cuando la humedad en el inicio de la tuberización está por debajo del 70% de capacidad de campo.

Según Rodríguez *et al* (2001) al evaluar la semilla de papa en camas hidropónicas las variedades Yungal, Canchan, Perricholi y tomasa observo que existen diferencias entre

las variedades, siendo de 19, 13, 22 y 20 tubérculos por planta respectivamente, sin embargo Otazu y Chuquillanqui, (2007) citado por Argentina Arano (2012) al evaluar tres variedades de papa mejoradas de Perú, bajo cultivo sin suelo encontró que las variedades perricholi, Canchan y Yungay produjeron 16, 7 y 7 tubérculos respectivamente.

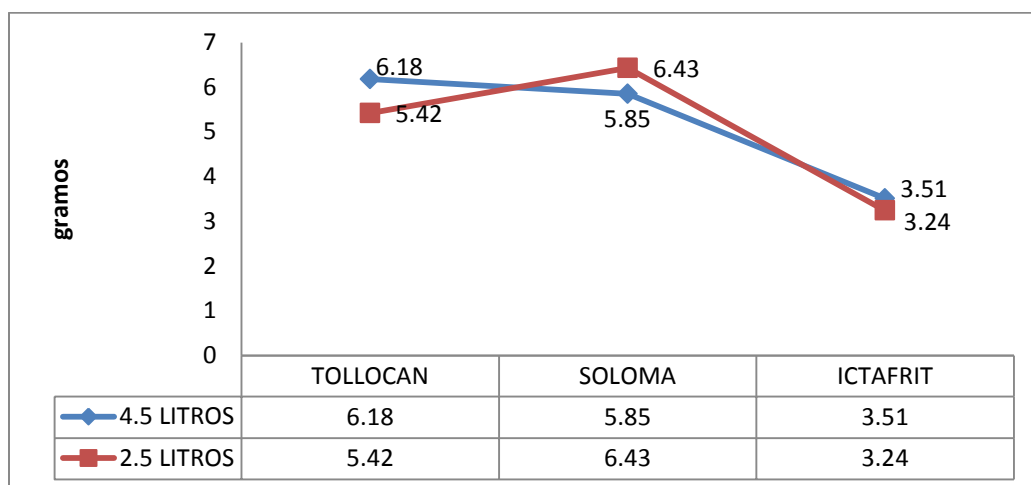
Por otro lado Quinteros (2015) en la evaluación del sistema de raíz flotante para la obtención de semilla de papa, teniendo resultados para la variedad victoria de 169.9 mini tubérculos por planta y para la variedad superchola 48.19 mini tubérculos por planta.

La presente investigación establece que para la variedad Soloma se obtuvo un total de 8.38 mini tubérculos por planta, la variedad Tollocan 6.5 mini tubérculos y la variedad Icta Frit un total de 5.94 mini tubérculos, pero el número de mini tubérculos son inferiores a los reportado por Otazu y Chuquillanqui (2007) citado por Argentina Arano (2012), Quinteros (2015) y Rodríguez (2001).

#### 4.7 Peso de los mini tubérculos

El análisis de esta variable se pesó cada uno de los mini tubérculos por planta.

Para esta variable, el análisis de varianza (cuadro A-41) mostró que el factor variedad presentó diferencias altamente significativas ( $p < 0.0025$ ). La prueba de comparación de medias de tukey (Cuadro A-42) muestra que la variedad Soloma y Tollocan, mostraron mayor peso, en contraposición, la variedad Icta Frit quien obtuvo menor peso en ambos volúmenes de sustrato, siendo estadísticamente diferente ( $p < 0.01$ ).



**Fig. 32.** Peso de Mini tubérculos de las tres variedades de papa en cultivo hidropónico

Para el factor volumen de sustrato e interacción de las variedades, el análisis de varianza no mostró diferencia estadística alguna, sin embargo, una aproximación al



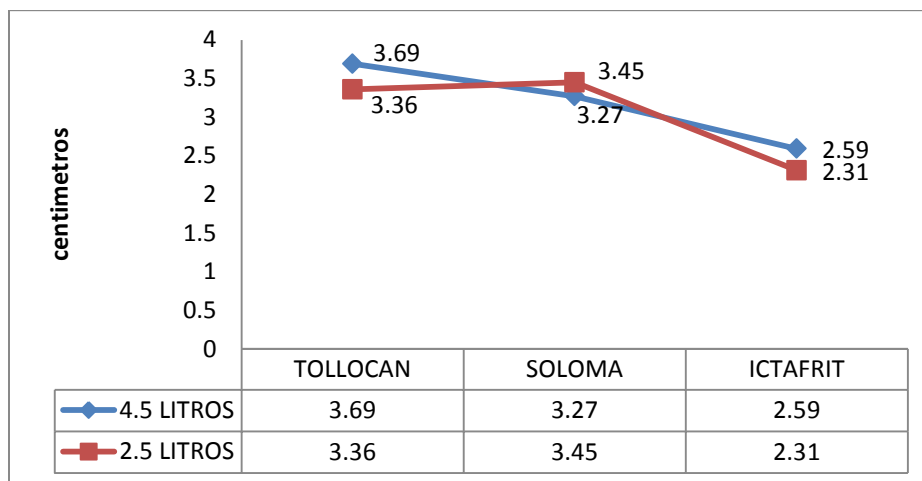
comportamiento de la combinación de los factores involucrados, muestra que cuando las variedades estuvieron sembradas en el volumen de 4.5 litros su comportamiento fue mejor para la variedad Tollocan no obstante la variedad Icta Frit su comportamiento fue menor en ambos volúmenes de sustrato (Fig A-32).

Sin embargo en la investigación los promedios de pesos de mini tubérculos para la variedad Tollocan fue de 6 gramos, la variedad Soloma de 5 y la variedad Icta Frit de 3 gramos en volumen de 4.5 litros, lo que afirma que los pesos cambian según la variedad a utilizar.

#### 4.8. Longitud de mini tubérculos

Para la toma de esta variable se utilizó cada mini tubérculo y el instrumento pie de rey para obtener el largo del mini tubérculo.

Para esta variable según el análisis de varianza (cuadro A-45) mostró que el factor variedad presentó diferencias altamente significativas ( $p < 0.0067$ ). La prueba de comparación de medias de tukey (Cuadro A-46), así lo demuestra, donde se identificó que la variedad Tollocan y Soloma mostraron mayor largo del tubérculo, no existiendo diferencia estadística alguna entre ellas, en contraposición, la variedad Icta Frit quien mostró menor largo en ambos volúmenes, siendo estadísticamente diferente ( $p < 0.01$ ).



**Fig. 33.** Longitud de Mini tubérculos

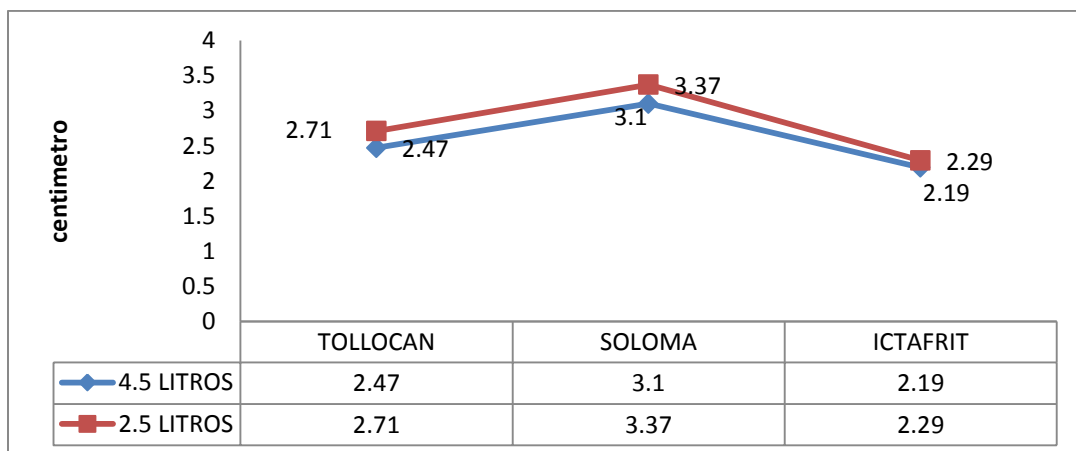
Para el factor volumen de sustrato e interacción de las variedades, el análisis de varianza no mostró diferencia estadística alguna, sin embargo, una aproximación al comportamiento de la combinación de los factores involucrados, muestra que cuando las variedades estuvieron sembradas en el volumen de 4.5 litros su comportamiento fue

mejor, no obstante, la variedad Icta Frit su comportamiento fue menor en ambos volúmenes (Fig A-33)

Aun cuando no existen diferencias estadísticas significativas, los resultados siempre demuestran que prevalece un comportamiento favorable de las variedades Tollocan y Soloma en presencia del largo del mini tubérculo, no así para la variedad Icta Frit.

#### 4.9. Diámetro del mini tubérculo

Para la variable diámetro de mini tubérculo, el análisis de varianza (cuadro A-49) mostró que el factor variedad presentó diferencias estadísticas significativas ( $p < 0.0221$ ). La prueba de comparación de medias de tukey (Cuadro A-50), así lo demuestra, donde se identificó que la variedad Soloma y Tollocan mostraron mayor diámetro del tubérculo, no existiendo diferencia estadística alguna entre ellas, siendo la variedad Icta Frit quien mostró menor diámetro, siendo estadísticamente iguales ( $p < 0.01$ ).



**Fig. 34.** Diámetro de Mini tubérculos

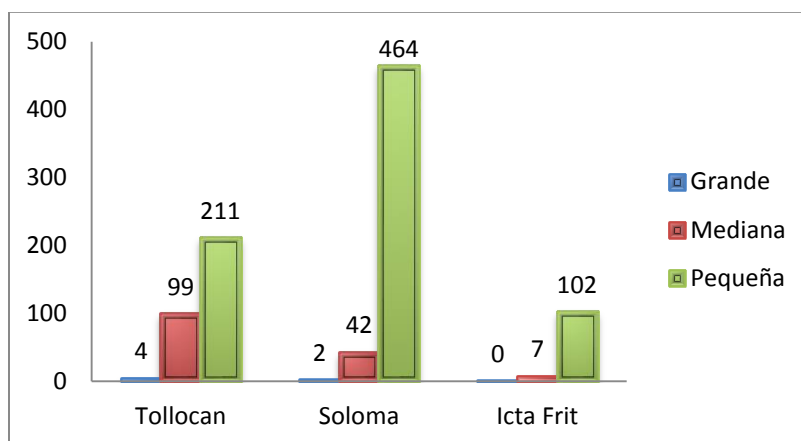
Para el factor volumen de sustrato e interacción de las variedades, el análisis de varianza no mostró diferencia estadística alguna, sin embargo, una aproximación al comportamiento de la combinación de los factores involucrados, denota, que cuando las variedades estuvieron sembradas en el volumen de 2.5 litros su comportamiento fue mejor, no obstante, la variedad Icta Frit su comportamiento fue menor en ambos volúmenes (Fig A-34). Aun cuando existen diferencias estadística significativas, los resultados demuestran que prevalece un comportamiento aceptable de las variedades en presencia del menor volumen de sustrato, manifestándose un aumento relativo en la variable diámetro de tubérculos.

Según Favoretto *et al.* (sf) en la investigación sobre diámetro de dos mini tubérculos producidos en sistema hidropónico, obtuvieron que para las variedades semiente fueron de 15 a 23 mm y Atlantic entre 10 a 15mm de diámetro.

Sin embargo en la investigación los promedios de diámetro de mini tubérculos fueron para la variedad soloma de 3.37 mm, la variedad tollocan de 2.71 mm siendo 2.19 mm para la icta frit siendo estos datos obtenidos inferiores a los antes mencionados

#### 4.10. Categorías de las tres variedades fueron:

El número total de plantas evaluadas fueron de 96 por las tres variedades; siendo para la variedad Tollocan 32 plantas resultando los mini tuberculos de tal manera se obtuvo tres categorías de mini tuberculos utilizando dos metodos: 1-fue por apreciación la cual consistió en considerar los diferentes tamaños de los mini tuberculos visualmente (Fig A-26,). 2- por medio de parámetros de clasificación de mini tuberculos que se presentán en el cuadro A-53 siendo este último el más adecuado (Fig. 35). De igual forma para la variedad Soloma el número de plantas fueron de 32, obteniéndose así los mini tuberculos (Fig A-27) así como la anterior se dividieron en tres categorías de mini tuberculos utilizando dos metodos: 1-fue por apreciación. 2- por medio de parametros de clasificación de mini tuberculos que se presentán en el cuadro A-54 siendo este último el más adecuado (Fig.35). Así mismo el número de plantas para la variedad Icta frit fueron de 32, obteniéndose así los mini tuberculos (Fig A-28) de igual forma que la anterior se dividieron en tres categorías de mini tuberculos utilizando dos metodos: 1-fue por apreciación. 2- por medio de parametros de clasificación de mini tuberculos que se presentán en el cuadro 54 siendo este último el más adecuado (Fig. 35).



**Fig. 35.** Categorizaciones de mini tubérculos en base a parámetros de los cuadros A-51 y A-52, para las tres variedades de papa (G1).

Al observar la Fig A-38 se muestra el número de mini tubérculos de papa por categorías, siendo la variedad Tollocan la que produjo mayores mini tubérculos de categoría grande y mediana.

Según Quinteros (2015) en la evaluación del sistema de raíz flotante para la obtención de semilla de papa, para las variedades victoria y superchola produjeron 4.17, 2.96 mini tubérculos por planta respectivamente, obteniéndose solo categorías pequeñas.

Así mismo \*Pérez Ascencio (2016) al realizar el ensayo con dos variedades de papa, obtuvo para la variedad Soloma 401 mini tubérculos categoría grande y 857 categoría mediana y la variedad Tollocan 60 mini tubérculos categoría grande y 745 categoría mediana

Sin embargo en la presente investigación, el número de mini tubérculos por categoría fue inferior a los datos de Pérez Ascencio (2016) pero no así a Quinteros (2015), en el cual sus resultados fueron inferiores a los que se obtuvo con esta investigación.

## 5. CONCLUSIONES

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

- Estadísticamente la variedad de papa Soloma, mostró diferencias altamente significativas al 0.01% en relación a la variedad Icta-frit.
- Los volúmenes de sustrato, estadísticamente no se encontraron diferencias significativas, es decir que se puede utilizar cualquiera de ellos y estos no influyen en la producción de mini tubérculos.
- Se determinó las etapas fenológicas de las variedades en estudio; en relación a los días de cada una de ellas utilizando la técnica de hidroponía en condiciones de ambiente protegido, siendo para la variedad Tollocan y soloma su ciclo de 102 días, y la variedad Icta Frit de 107 días.

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

- Para la producción de semilla pre-básica de papa libre de virus es indispensable la técnica de hidroponía en condiciones protegidas.
- La variedad Tollocan representó el mayor porcentaje en la categoría mediana de 31.50% de semilla prebásica en relación a peso (5-10g) y diámetro (1.4-1.8 cm).

## **6. RECOMENDACIONES**

- Utilizar las variedades Soloma y Tollocan para la multiplicación de mini tubérculos por el alto rendimiento presentado.
- Seleccionar la variedad Tollocan para la multiplicación de mini tubérculos categoría mediana.
- Utilizar el sustrato de menor volumen el cual es indiferente al número y peso de mini tubérculos de las variedades.
- Utilizar las etapas fenológicas ya que permiten identificar los períodos críticos para el manejo agronómico de las variedades.
- Para la multiplicación de mini tubérculos de semilla pre básica es necesaria la técnica de hidroponía en condiciones protegidas.
- Es necesario realizar investigaciones para la producción de semilla pre básica en otros períodos de tiempo, sustratos, contenedores, densidades entre otros.

## 7. BIBLOGRAFIA

1. **Agrolanzarote. Servicio insular agrario, 2012.** Fichas Técnicas de los Cultivos de Lanzarote. Papa, (en línea) ES. Consultado el 31 de mar. 2016, Disponible en: [http://www.agrolanzarote.com/sites/default/files/Agrolanzarote/02Productos/documentos/agrolanzarote.\\_ficha\\_papas.pdf](http://www.agrolanzarote.com/sites/default/files/Agrolanzarote/02Productos/documentos/agrolanzarote._ficha_papas.pdf)
2. **AGROMATICA (Sistema informático de Agricultura). 2014.** Fibra de coco un sustrato con gran potencial. (en línea), Consultado el 3 de abr. 2016. Disponible en: <http://www.agromatica.es/sustrato-de-fibra-de-coco/>**Arce, FA. 2002.** El cultivo de la patata. 2 ed. Madrid, ES. Mundi-Prensa. p. 65-69
3. **Arce, FA. 2002.** El cultivo de la patata. 2ed. Madrid, ES. Mundi-Prensa. P. 65-69
4. **Argentina Arano, C. 2012.** Producción de semillas de papa bajo cultivo sin suelo en Perú. (en línea), Red Hidroponía Lima. Perú. Consultado el 26 de may. 2016. Disponible en: [http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/redhidro/boletin56/56\\_semilla%20Papa%20sistema%20aeroponic.pdf](http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/redhidro/boletin56/56_semilla%20Papa%20sistema%20aeroponic.pdf)
5. **ARMISUM (Arcillas, Minerales y Suministros, ES) (sf).** Piedra pómez, pumita ó pumice Stone 2/4mm para uso en sustrato. Especificaciones de piedra. (en línea), Consultado el 3 de abr. 2016, disponible <http://www.armisum.com/ficha.asp?id=625>
6. **Azcón-Bieto, J.; Talón, M. 2000** Fundamentos de fisiología vegetal Ed. McGRAW-HILL Interamericana. Madrid. p. 113-130
7. **Baixauli, C; Aguilar, J. 2002.** Cultivo sin suelo de Hortalizas, Aspectos prácticos y Experiencias. Generalitat valenciana, valencia. 110 p.
8. **Barquero M; Gómez L, Brenes A, Valverde R. 2001.** El tamaño del pote en la Producción de semilla pre-básica de papa en invernadero. (en línea), CR, Consultado el 25 de feb. 2016 disponible en [www.mag.go.cr/rev\\_agr/v25n01\\_061.pdf](http://www.mag.go.cr/rev_agr/v25n01_061.pdf)
9. **BCR (Banco Central de Reserva, SV). 2015.** Revista Trimestral Julio-Septiembre. (en línea) SV, Consultado el 31 de Mar. 2016 Disponible en: <http://www.bcr.gob.sv/bcrsite/uploaded/content/category/1287063787.pdf>
10. **Bedoya Justo, E .s.f.** Programa de Introducción a la Hidroponía. (en línea) Perú, Universidad “José Carlos Mariátegui, Consultado 11 feb. 2015 Disponible en [http://www.ujcm.edu.pe/bv/links/cur\\_agronomica/Hidroponia.pdf](http://www.ujcm.edu.pe/bv/links/cur_agronomica/Hidroponia.pdf)
11. **Calderón Saenz, F; Cevallos F. 2002.** Los sustratos. Consultado 2 jul. 2015 (en línea) Disponible en: [http://www.drcalderonlabs.com/Publicaciones/Los\\_Sustratos.html](http://www.drcalderonlabs.com/Publicaciones/Los_Sustratos.html)

12. **California Fertilizer Association. 1995.** Manual de fertilizantes para horticultura. trad. Manuel de Guzmán Ortiz, México, LIMUSA. 80-95 p.
13. **Carrasco, G.1996.** La empresa hidropónica de mediana escala: la técnica de la solución nutritiva recirculantes (“NFT”). Chile. Universidad de Talca. p. 97
14. **CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, SV). 2011.** Informe final del proyecto: “fomento a la producción y productividad de los granos básicos, hortalizas y frutales en el salvador”, PEIS (4643). (en línea). SV. Consultado el 1 de abr. 2016, Disponible en:  
[ublica.gobiernoabierto.gob.sv/institutions/centro-nacional-de-tecnologia-agricola-y-forestal-enrique-alvarez-cordova/information\\_standards/otros-documentos-normativos?page=2](http://publica.gobiernoabierto.gob.sv/institutions/centro-nacional-de-tecnologia-agricola-y-forestal-enrique-alvarez-cordova/information_standards/otros-documentos-normativos?page=2)
15. **Chavez Arroyo, GA; Ramirez Rodas, AE. 2013.** Manual para la producción de semilla certificada de papa. (en línea). GT, Consultado el 1 de Abr. 2016, Disponible en: <http://repositorio.iica.int/docs/B3943e/b3943e.pdf>
16. **Comité de Coordinación del Proyecto Centro de Desarrollo Rural. 2008.** Manual dirigido a técnicos. Hidroponía. Universidad del Valle de Guatemala y Fundación Soros Guatemala. 25 p.
17. **Comité Nacional Sistema Producto papa. 2012.** Monografía del sector papa. (en línea), MX, Consultado el 24 de Oct. 2015. Disponible en <http://conpapa.org.mx/files/paginas/0000000018/ficha-tecnica-2012.pdf>
18. **CORPOICA (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria). 2013.** Tecnología para el cultivo de tomate bajo condiciones protegidas (en línea).consultado el 2 de abr. 2016. Disponible:  
[http://www.siembracom.co/NetCorpoica/WebNetAgroNetTec/WebNetAgroNetTec/Pg\\_GestArchivos/Archivos\\_Varios/cartillaTecnologia%20para%20el%20cultivo%20del%20Tomate\(CLIENTE\).pdf](http://www.siembracom.co/NetCorpoica/WebNetAgroNetTec/WebNetAgroNetTec/Pg_GestArchivos/Archivos_Varios/cartillaTecnologia%20para%20el%20cultivo%20del%20Tomate(CLIENTE).pdf)
19. **De la Cruz Villanueva, JD. 2011.** Potencial de Hidrogeno. (en línea). Consultado 2 jul. 2015 Disponible en:<http://micienciaquimicas.blogspot.com/2011/12/potencial-dehidrogeno.html>
20. **Ekeberg, E y Riley HCF. 1996.** Effects of mouldboard ploughing and direct planting on yield and nutrient uptake of potatoes in Norway. Soil and Tillage Research 39: p. 131-142
21. **Ellisseche, D. 2002.** La patata. En: Tirilly I. y Bourgeois C. M. (Ed.) Tecnología de las hortalizas. Editorial Acribia, Zaragoza, p. 67-93

22. **FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2006.** Seguridad Alimentaria. Informe de Políticas. (en línea). Consultado el 31 de mar. 2016. Disponible en:
23. **Favoretto, P; Tavares de melos, PC; Anti, GR; Gomez fabri,E y Rytsi hayashi,PC. Sf.** Diámetro dos mini tubérculos de batata-semente cv. Atlantic producidos en sistema hidropónico. (en línea). Consultado el 27 de may. 2016. Disponible en:  
[http://www.abhorticultura.com.br/biblioteca/arquivos/Download/Biblioteca/46\\_0233.pdf](http://www.abhorticultura.com.br/biblioteca/arquivos/Download/Biblioteca/46_0233.pdf)
24. **Glenn EP; Brown JJ; Blumwald E. 1999.** Salt tolerance and crop potential of halophytes. Crit. Rev.Plant Sci. 18: p. 227-255
25. **Gómez, D; Vasquez, M. 2011.** Producción Orgánica de Hortalizas de Clima Templado, Serie: Comercialización. Pronagro/SAG-COSUDE. Tegucigalpa, HN. 16 p.
26. **Gutiérrez, A; Linares, Y; Guerrero, C. 2008.** Tendencia del Mercado Mundial de la papa. Implicaciones para Venezuela. (en línea), VE, Consultado 5 feb. 2015 Disponible en:  
<http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/29997/1/articulo2.pdf>
27. **IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2015.** Plan de Agricultura Familiar. (en línea). SV. Consultado el 31 de mar. 2016, Disponible en:  
<http://legacy.iica.int/Esp/regiones/central/salvador/proyectos/Paginas/paf.aspx>
28. **INA (Instituto Nacional de Aprendizaje).2003.** Proyecto INA, Sistema Unificado de Información Institucional. HIDROPONIA EN CASA: Una actividad familiar. San José, Costa Rica, 25 p.
29. **INIAP (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, EC). 2001. Informe Anual 2000.** Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. Departamento de Producción de Semillas. Quito, Ecuador. 58 p.
30. **Inoztroza Fariña, J. 2009.** Manual de papa para La Araucanía: Manejo y Plantación. (en línea), CL, Consultado el 31 de mar. 2016, Disponible en <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR36470.pdf>
31. **Largo Medero, M. 2012.** Sostenibilidad Económica de los Cultivos Protegidos.CU. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. 9 p.



32. **López Monzón, CE; Tobar Tomas, WV; Sica, AV. 2011.** Caracterización Morfología de 36 cultivares de papa (*Solanum Tuberosum L*) en la sierra de los cuchumatanes, del departamento de Huehuetenango. Universidad San Carlos de Guatemala. 101 p.
33. **MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 2012.** Resultados de la Encuesta de Estimación de Daños EN LA Producción de Granos Básicos de las Zonas con Déficit de Lluvia, Ocasionados por la canícula del mes de julio 2012. División de Estadísticas Agropecuarias.
34. **MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, SV). 2013.** Anuarios de Estadísticas Agropecuarias 2012-2013. Santa Tecla, El Salvador. 72 p.
35. **Magrin, G., C. Gay García, D. Cruz Choque, J.C. Giménez, A.R. Moreno, G.J. Nagy, C. Nobre and A. Villamizar. 2007.** Latin America. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assesment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Ed Cambridge Universoty Press, Cambridge, UK.
36. **MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SV).2016.** Cambio Climático. (en línea). Consultado el 31 de mar. 2016, Disponible en: <http://www.marn.gob.sv/index.php/c10-temas/cambio-climatico-3/>
37. **Martínez de la Cerda, J; Gutiérrez Diez, A; Molina Velázquez, M; García Zambrano, EA. S.F.** Riego en Hortalizas. (en línea) MX. Consultado 25 feb. 2015. Disponible en : [http://www.infoagro.com/hortalizas/riego\\_hortícolas.html](http://www.infoagro.com/hortalizas/riego_hortícolas.html)
38. **Mejia Larios, R; Santos Méndez, J; Pineda, L; Hernández, S. 2013.** Manual de producción de semilla de papa mediante técnicas de multiplicación asexual. (en línea),HN, Consultado el 31 de mar.2016, Disponible en: <http://www.asocam.org/biblioteca/files/original/6f25b66b5b8270a6981a68a2da025bea.pdf>
39. **Mora, L. 2012.** Sustratos para cultivos sin suelo o hidroponía. INDAGRO, San José, CR. 6 p.
40. **Muñoz, A. 2010.** Cultivo de papa. *Solanum tuberosum. L.* (en línea) EC. Consultado 5 feb. 2015 Disponible en: [http://www.agrytec.com/agricola/index.php?option=com\\_content&view=article&id=281:cultivo-de-papa-solanum-tuberosum&catid=43:articulos-tecnicos&Itemid=46](http://www.agrytec.com/agricola/index.php?option=com_content&view=article&id=281:cultivo-de-papa-solanum-tuberosum&catid=43:articulos-tecnicos&Itemid=46)

41. **Netto, DV. (sf)**. Biología-Las plantas y los minerales. Absorción de nutrientes por la raíz. (en línea). Facultad de Agronomía, Buenos Aires, AR, Consultado el 3 de abr. 2016. Disponible en:  
<http://www.fisicanet.com.ar/biologia/fisiologia/ap01absorciondeminerales.php>
42. **Nuila de Mejía, JA.1990**.Manual de diseños experimentales con aplicación a la agricultura y ganadería. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de El Salvador, SV. 201 p.
43. **Paredes, M; Calvache, M;Montesdeoca, F y Benitez, J. sf**. Estudio de producción de tubérculo-semilla categoría prebásica de dos variedades de papa bajo diferentes sistemas de manejo. (en línea), Universidad Central de Ecuador. Consultado el 26 de may. 2016. Disponible en:  
[http://192.156.137.121:8080/cipotato/region-quito/congresos/iv-congreso-ecuatoriano-de-la-papa/4\\_Nac\\_papa/memorias/j\\_cayambe\\_memoria.pdf](http://192.156.137.121:8080/cipotato/region-quito/congresos/iv-congreso-ecuatoriano-de-la-papa/4_Nac_papa/memorias/j_cayambe_memoria.pdf)
44. **Parsons, DB. 1984**. Papas. Manuales para educación agropecuaria. MX. Editorial Trillas. 54 p.
45. **Patrón Ibarra, JC. 2014**. Sustratos Orgánicos Alternativos para la Producción de Tubérculo- Semilla de papa en Invernadero. Tesis. Dr en Ciencias. Montecillo, MX. Colegio de Posgraduados. Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. 214 p.
46. **Ponce, A; Gordillo, F. (sf)**. Producción de semilla: control interno de calidad. (en línea), EC, Consultado el 7 de abr. 2016. Disponible en:  
<http://192.156.137.121:8080/cipotato/region-quito/informacion/inventario-de-tecnologias/CIC.pdf>
47. **Portillo, MA. 2010**. Manual de agricultura Protegida Los Cinco Pilares. Proyecto de Desarrollo Productivo; Servicios de Producción y Negocios, FOMILENIO. SV. 40 p.
48. **PRECOLOMBIA (Promoción Comercial de las Exportaciones, el turismo Internacional y la Inversión extranjera en Colombia, CO). 2012**. El Salvador mantiene dependencia de frutas y verduras importadas. Consultado 16 feb. 2015. Disponible en: <http://www.colombiatrader.com.co/fr/node/5588>.
49. **Quinteros Pallarozo, CH, G.2015**. Evaluación del sistema de raíz flotante para la obtención de semilla de papa (*Solanum tuberosum L.*) de calidad. Cutuglagua, pichincha. Tesis Ing. Agr. Quito. Universidad Central del Ecuador. 62 p.

50. **RAP-L (Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas para América Latina). 2008.** La papa un Alimento Básico. Posibles impactos frente a la introducción de papa transgénica. UY. 11 p
51. **Reis Jr, R. A. y Fontes P. C. R. 1996.** Qualidade de tubérculos da batateira em fução de doses de adubação potássica. Horticultura Brasileira 14: p. 170-174
52. **Resh, HM. 2001.** Cultivos hidropónicos, nuevas técnicas de producción: Una guía completa de los métodos actuales de cultivos sin suelo. Para técnicos y agricultores profesionales, así como para los aficionados especializados. Carlos de Juan. 5 ed. Madrid, ES. p. 89-94
53. **Rodríguez Macías, R; Quinteros Lizaola,R; Alcantar Gonzales,G; Ordaz Chaparro,V; Volke Haller,V.2005.** Dinamica y cuantificación de grupos microbianos en compost y vermicompost de bagazo de agave tequilero.Terra latinoamericana.23: p. 97-104
54. **Rodríguez- Delfín A, Hoyos M, Chang La Rosa M. 2001.** Soluciones Nutritivas en Hidroponía, Departamento de Hidroponía, Universidad Nacional Agraria “La Molina”, Lima, Perú. p. 3-9
55. **Román, M; Hurtado, G. 2002.** La Papa. Centro Nacional De Tecnología Agropecuaria y Forestal. 34 p.
56. **Samperio Ruiz, G.1997.**Hidroponia básica: el cultivo fácil y rentable de plantas sin tierra, México, DIANA, S.A.DE.C.V. p. 138
57. **Santos, BM; Obregon Olivas, HA; Salamé Donoso, TP. (sf).** Producción de Hortalizas en Ambientes Protegidos: Estructuras para la Agricultura Protegida (en línea). Consultado 12 sep. 2014. Disponible en:  
<https://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/HS/HS118200.pdf>
58. **SNET (Servicios Nacional De Estudios Territoriales). 2015.** Boletín Climatológico, Anual 2015. (en línea). San Salvador SV. Consultado el 12 de may. Del 2016. Disponible en:  
<http://www.snet.gob.sv/UserFiles/meteorologia/climatico2015.pdf>
59. **Spooner, M D. 2005.** Origen de la papa origen de la papa. (en línea) US, Universidad de Wisconsin, consultado el 30 de Marz. 2016. Disponible en:  
<http://myslide.es/documents /origen-de-la-papa.html>
60. **SQM (Sociedad Química y Mineral de Chile). (sf).** Conductividad eléctrica y Salinidad. (en línea), Consultado el 7 de abr. 2016. Disponible en:

[http://www.redagricola.com/sites/default/files/conductividad\\_electrica\\_y\\_salinidad.pdf](http://www.redagricola.com/sites/default/files/conductividad_electrica_y_salinidad.pdf)

61. **Velásquez Carrera, J. s.f.** Producción de tubérculo-semillas de papa en la estación experimental santa catalina del INIAP y su relación con el sector semillero nacional. INIAPI. Ecuador. 7 p.
62. **Velásquez, J, Quevedo, R.; Paula, N. 1998.** El Sistema de Producción de Semillas de Papa en el INIAP. Revista Informativa del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias-INIAP No. 10, p. 18-22
63. **Westerman, DT.; Davis, JR. 1992.** Potato nutritional management changes and challenges into the next century. American Potato Journal. Vol 69, p. 753-767
64. **Wienserma, SG.1985.** Desarrollo Fisiológico de Tubérculos – Semillas de papa. Boletín de información técnica 20. Lima, Perú, Centro Internacional de la papa. 16 p.
65. **WIERSEMA, S. 1987.** Efecto de la densidad de tallos en la producción de papa. 3ª. ed. Lima, Centro Internacional de la Papa. p. 4-8

## 8. ANEXO

**Cuadro A-1:** \*Valores Nutricional para 100 gramos de papa<sup>2</sup>.

<b>Agua</b>	<b>77,00g</b>	<b>Lípidos</b>	<b>0,10g</b>
<b>Fibra</b>	1,80g	<b>Vitamina C</b>	13mg
<b>Valor calórico</b>	87Kcal	<b>Hierro</b>	0,31mg
<b>Proteína</b>	1,87g	<b>Calcio</b>	5mg
<b>Carbohidratos</b>	20,13g	<b>Fosforo</b>	44mg

Fuente: RAP-L 2008

**Cuadro A-2:** Participación del sector agrícola en el PIB (Años: 2010-2014)

<b>Producto Interno Bruto</b>		<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>
<b>Agricultura,Caza,</b>	Precios	12.8%	12.3%	12.4%	12.2%	12.1%
<b>Silvicultura y Pesca</b>	Constante					
<b>Agricultura, Caza,</b>	Precios	11.6%	11.5%	10.9%	10.1%	10.5%
<b>Silvicultura y Pesca</b>	Corrientes					

Fuente: BCR 2015

**Cuadro A-4.** Propiedades físicas de la piedra pómez

<b>Granulometría</b>	<b>2/4 mm</b>
<b>Humedad</b>	3%
<b>Densidad aparente</b>	0,7 (0,4 a 0,9) g/cm <sup>3</sup>
<b>Dureza</b>	5 / 6 Mohs
<b>Color</b>	Blanco grisáceo, ceniza, amarillento.
<b>Brillo</b>	Piedras pómez frescas son de brillo sedoso
<b>Textura</b>	Porosa, esponjosa o espumosa. Escoriácea, con muchos huecos y cavidades.

Fuente: ARMISUM, SF

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

**Cuadro A- 5.** Propiedades químicas de la piedra pómez

<b>SiO2</b>	<b>Trióxido de Silicio</b>	<b>71%</b>
<b>Al2O3</b>	Trióxido de Aluminio	12.8%
<b>Fe2O3</b>	Trióxido de Hierro	1.75%
<b>CaO</b>	Óxido de calcio	1.36%
<b>Na2O</b>	Óxido de sodio	3.23%
<b>K2O</b>	Óxido de potasio	3.83%
<b>H2O</b>	Agua	3.88%
<b>TiO2</b>	Óxido de Titanio	0.12%
<b>MnO</b>	Óxido de Manganeseo	0.03%
<b>P2O5</b>	Óxido de Fosforo	0.05%
<b>MgO</b>	Óxido de Magnesio	0.29%

Fuente: ARMISUM, SF

**Cuadro A-6.** Propiedades físicas de la fibra de coco

<b>Tamaño.</b>	<b>0.25 – 2 mm</b>
<b>Espacio poroso</b>	<b>86 – 90 %</b>
<b>Capacidad de retención de humedad.</b>	<b>25-50%.</b>

Fuente: Mora 2012

**Cuadro A-7.** Propiedades químicas de la fibra de coco.

<b>Conductividad eléctrica.</b>	<b>&lt; 0.8 mS/cm</b>	<b>Magnesio.</b>	<b>460 ppm</b>
<b>CIC</b>	39- 130	Azufre.	25 ppm
<b>Lignina (%)</b>	60- 70	Hierro	1.2 ppm
<b>pH</b>	5.6 – 6.9	Manganeseo.	1.1 ppm
<b>Nitrógeno.</b>	17 ppm	Zinc.	0.7 ppm
<b>Fosforo.</b>	15 ppm	Cobre.	0.4 ppm
<b>Potasio.</b>	253 ppm	Boro.	0.1 ppm
<b>Calcio.</b>	70 ppm	Aluminio.	1.0 ppm
<b>Cloro.</b>	26 – 1000 ppm	C/N(relación carbono nitrógeno)	80:1
<b>Contenido celulosa</b>	20-30 %	Porcentaje de aireación	10-40 %

Fuente: Mora, 2012 y Agromatica, 2014

**Cuadro A-8.** Extracciones de macro nutrientes en el cultivo de papa

Rendimiento (t/ha) m.f.	Elementos extraídos (Kg/ha) tubérculos				Restos de cultivo (t/ha) m.f.	Elementos extraídos (Kg/ha) planta			
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO
141	55.1	353	21.1	26.4	66.0	10.4	133	37.1	
154	51.8	357	24.6	25.7	62.9	9.30	105	30.5	
84	39.88	169.9	-----	1.86*	41	11.0	75.9	----	
88	41.71	166.3	-----	2.25*	52	13.98	96.4	----	
71	34.85	145.8	-----	2.23*	55	15.13	102.4	----	
88	41.94	171.1	-----	2.11*	47	12.61	85.55	----	
99	45.84	188.0	-----	1.82*	37	9.85	71.1	----	

\* Materia seca (m.s). Para calcular la m.f. (materia fresca) m.f.= (m.s.) x 10

**Fuente:** Ribó Herrero, M (2004); Ekeberg y Riley (1996)

**Cuadro A-9.** Extracciones de elementos por tonelada en el cultivo de papa (kg)

	Elementos extraídos tubérculos				Elementos extraídos parte aérea			
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO
	2,48	0,97	6,20	0,37	2,50	0,39	5,04	1,41
	2,71	0,91	6,27	0,43	2,45	0,36	4,09	1,19
<b>PROMEDIO</b>	2,75	1,31	5,57	-----	2,20	0,59	4,08	-----
<b>(por Tm de tubérculo)</b>	2,88	1,36	5,44	-----	2,31	0,62	4,28	-----
	2,66	1,31	5,47	-----	2,47	0,68	4,59	-----
	2,80	1,33	5,44	-----	2,23	0,60	4,05	-----
	2,95	1,37	5,60	-----	2,03	0,54	3,91	-----
	<b>2,75</b>	<b>1,22</b>	<b>5,71</b>	<b>0,40</b>	<b>2,31</b>	<b>0,54</b>	<b>4,29</b>	<b>1,30</b>

**Fuente:** Ribó Herrero, M (2004); Ekeberg y Riley (1996)

**Cuadro A-11.** Clasificación del agua de riego de acuerdo a conductividad eléctrica, sodio, cloro y sulfatos.

Tipo de Agua	Conductividad Eléctrica $\mu\text{S/m}$	Sodio %	Cloruro (Cl) mg/L	Sulfatos (SO <sub>4</sub> ) me/L
Excelente	<250	<20	<4	<4
Buena	250-750	20-40	4-7	4-7
Normal	750-2000	40-60	7-12	7-12
Dudosa	2000-3000	60-80	12-20	12-20
No apta	>3000	>80	>20	>20

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

**Cuadro A-12.-** Efecto de las sales (EC) en el agua de riego y su efecto en el rendimiento de las principales hortalizas

Cultivo	0% Pérdida con relación a la C.E.	10% Pérdida con relación a la C.E.
Tomate	1.7	2.3
Pepino	1.7	2.2
Papa	1.1	1.7

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

**Cuadro A-13.** Efecto de las sales (EC) en el agua de riego; el suelo y su efecto en el rendimiento

Cultivo	0% pérdida		10% pérdida		25% pérdida	
	*CEe	**CEw	CEe	CEw	CEe	***CEw
Tomate	2.5	1.7	3.5	2.3	5	34
Melón	2.2	1.5	3.6	2.4	5.7	3.8
Papa	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5
Lechuga	1.3	0.9	2.1	1.4	3.2	2.1

**Fuente:** SQM,sf.

\*CEe: Conductividad eléctrica del extracto saturado del suelo, en mmhos/cm a 25°C. \*\* CEw: Conductividad eléctrica del agua de riego, en mmhos/ cm a 25°C.



**Cuadro A-14:** Conductividad eléctrica de algunas hortalizas

Cultivo	C.E. límite (dS/m)	Pdte, % de perdida	Tipo de tolerancia
Cebolla	1.2	16	Sensible
Zanahoria	1	14	Sensible
Apio	1.8	4.8	Moderadamente sensible
Papa	1.7	9.44	Moderadamente sensible
Pepino	2	10.45	Moderadamente sensible
Rábano	1.2	10.18	Moderadamente sensible
Pimiento	1.5	11.04	Moderadamente sensible
Lechuga	1.25	10.18	Moderadamente sensible

**Fuente:** Glenn *et al.*1999.

**Cuadro A-19.** Significado de la simbología del plano de campo

SIMBOLOGIA			
Tratamiento	Figura (color)	Variedad	Volumen
1		Tollocan	4.5 Litros de sustrato
2		Tollocan	2.5 Litros de sustrato
3		Soloma	4.5 Litros de sustrato
4		Soloma	2.5 Litros de sustrato
5		Icta-Frit	4.5 Litros de sustrato
6		Icta-Frit	2.5 Litros de sustrato

**Cuadro A-21.** Análisis de la varianza para la variable altura de planta

Variable N R<sup>2</sup> R<sup>2</sup> Aj CV

**Altura** 24 0.58 0.36 6.79

Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	114.30	8	14.29	2.60	0.0527
BLOQUE	4.86	3	1.62	0.29	0.8285
VARIEDAD	96.98	2	48.49	8.83	0.0029
VOLUMEN	9.88	1	9.88	1.80	0.1998
VARIEDAD*VOLUMEN	2.57	2	1.29	0.23	0.7941
Error	82.40	15	5.49		
Total	196.70	23			

Test: Tukey Alfa=0.01 DMS=4.00741

Error: 5.4936 gl: 15

**Cuadro A-22.** Prueba de tukey de Variedades de papa

<u>VARIEDAD</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	
Icta Frit	36.04	8	0.83	A
Tollocan	35.80	8	0.83	A
Soloma	31.66	8	0.83	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.01$ )  
 Test: Tukey Alfa=0.01 DMS=2.8196  
 Error: 5.4936 gl: 15

**Cuadro A-23.** Prueba de tukey de Volúmenes

<u>VOLUMEN</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	
2.5.	35.14	12	0.68	A
4.5.	33.86	12	0.68	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.01$ )  
 Test: Tukey Alfa=0.01 DMS=6.79196 Error: 5.4936 gl: 15

**Cuadro A-24.** Prueba de tukey Interacción de variedades \*volumen

<u>VARIEDAD</u>	<u>VOLUMEN</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>
Icta Frit	2.5	37.13	4	1.17 A
Tollocan	2.5	36.32	4	1.17 A
Tollocan	4.5	35.28	4	1.17 A
Icta Frit	4.5	34.95	4	1.17 A
Soloma	2.5	31.97	4	1.17 A
Soloma	4.5	31.35	4	1.17 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.01$ )

**Cuadro A-25.** Análisis de la varianza de la variable diámetro de tallo

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R<sup>2</sup></u>	<u>R<sup>2</sup> Aj</u>	<u>CV</u>
Diámetro (mm)	24	0.47	0.18	14.24

Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	4.31	8	0.54	1.64	0.1949
BLOQUE	1.41	3	0.47	1.43	0.2731
VARIEDAD	2.20	2	1.10	3.34	0.0631
VOLUMEN	0.28	1	0.28	0.86	0.3677
VARIEDAD*VOLUMEN	0.42	2	0.21	0.64	0.5419
Error	4.94	15	0.33		
Total	9.25	23			

Test: Tukey Alfa=0.01 DMS=0.98079  
 Error: 0.3291 gl: 15

**Cuadro A-26.** Prueba de tukey de Variedades

VARIEDAD	Medias	n	E.E.
Tollocan	4.31	8	0.20 A
Soloma	4.16	8	0.20 A
Icta Frit	3.61	8	0.20 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.01$ )

Test:Tukey Alfa=0.01 DMS=0.69008

Error: 0.3291 gl: 15

**Cuadro A-27.** Prueba de tukey de Volúmenes

VOLUMEN	Medias	n	E.E.
2.5	4.14	12	0.17 A
4.5	3.92	12	0.17 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.01$ )

Test:Tukey Alfa=0.01 DMS=1.66229

Error: 0.3291 gl: 15

**Cuadro A-28** Prueba de tukey Interacción de Variedad\* Volumen

VARIEDAD	VOLUMEN	Medias	n	E.E.
Tollocan	2.5	4.59	4	0.29 A
Soloma	2.5	4.26	4	0.29 A
Soloma	4.5	4.06	4	0.29 A
Tollocan	4.5	4.04	4	0.29 A
Icta Frit	4.5	3.66	4	0.29 A
Icta Frit	2.5	3.56	4	0.29 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.01$ )

**Cuadro A-29.** Análisis de la varianza de número de hojas compuestas

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Nº de Hojas	24	0.61	0.40	19.51

Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	165.12	8	20.64	2.92	0.0350
BLOQUE	64.69	3	21.56	3.05	0.0609
VARIEDAD	93.87	2	46.94	6.65	0.0086
VOLUMEN	0.71	1	0.71	0.10	0.7554
VARIEDAD*VOLUMEN	5.84	2	2.92	0.41	0.6685
Error	105.88	15	7.06		
Total	271.00	23			

Test:Tukey Alfa=0.01 DMS=4.54261

Error: 7.0589 gl: 15

**Cuadro A-30.** Prueba de tukey de Variedades

<u>VARIEDAD</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>
Tollocan	16.15	8	0.94 A
Soloma	13.37	8	0.94 A B
Icta Frit	11.32	8	0.94 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.01$ )

Test:Tukey Alfa=0.01 DMS=3.19619

Error: 7.0589 gl: 15

**Cuadro A-31.** Prueba de tukey de Volúmenes

<u>VOLUMEN</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>
2.5	13.79	12	0.77 A
4.5	13.44	12	0.77 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.01$ )

Test:Tukey Alfa=0.01 DMS=7.69903

Error: 7.0589 gl: 15

**Cuadro A-32.** Prueba de tukey de Interacciones Volumen\*Variedad

<u>VARIEDAD</u>	<u>VOLUMEN</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>
Tollocan	4.5	16.37	4	1.33 A
Tollocan	2.5	15.93	4	1.33 A
Soloma	4.5	13.50	4	1.33 A
Soloma	2.5	13.25	4	1.33 A
Icta Frit	2.5	12.19	4	1.33 A
Icta Frit	4.5	10.46	4	1.33 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.01$ )

**Cuadro A-33.** Análisis de la varianza de la variable número de brotes

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R<sup>2</sup></u>	<u>R<sup>2</sup> Aj</u>	<u>CV</u>
Nº de Brotes	24	0.43	0.12	37.62

Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	6.15	8	0.77	1.39	0.2779
BLOQUE	0.94	3	0.31	0.57	0.6447
VARIEDAD	3.06	2	1.53	2.76	0.0954
VOLUMEN	6.7E-05	1	6.7E-05	1.2E-04	0.9914
VARIEDAD*VOLUMEN	2.15	2	1.08	1.94	0.1780
Error	8.31	15	0.55		
<u>Total</u>	<u>14.46</u>	<u>23</u>			

Test:Tukey Alfa=0.01 DMS=1.27249

Error: 0.5539 gl: 15

**Cuadro A-34** Prueba de tukey de Variedades

<u>VARIEDAD</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>
Tollocan	2.45	8	0.26 A
Soloma	1.89	8	0.26 A
Icta Frit	1.59	8	0.26 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.01$ )

Test: Tukey Alfa=0.01 DMS=0.89533

Error: 0.5539 gl: 15

**Cuadro A-35.** Prueba de tukey de Volúmenes

<u>VOLUMEN</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>
2.5	1.98	12	0.21 A
4.5	1.98	12	0.21 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.01$ )

Test: Tukey Alfa=0.01 DMS=2.15669

Error: 0.5539 gl: 15

**Cuadro A-36.** Prueba de tukey de Interacción Variedad\* Volumen

<u>VARIEDAD</u>	<u>VOLUMEN</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>
Tollocan	2.5	2.84	4	0.37 A
Tollocan	4.5	2.07	4	0.37 A
Icta Frit	4.5	1.94	4	0.37 A
Soloma	4.5	1.93	4	0.37 A
Soloma	2.5	1.85	4	0.37 A
Icta Frit	2.5	1.25	4	0.37 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.01$ )

**Cuadro A-37.** Análisis de la varianza para la variable número de mini tubérculo

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R<sup>2</sup></u>	<u>R<sup>2</sup> Aj</u>	<u>CV</u>
Nº Tubérculo	24	0.59	0.37	15.48

Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	24.93	8	3.12	2.71	0.0459
BLOQUE	1.20	3	0.40	0.35	0.7923
VARIEDAD	23.04	2	11.52	10.01	0.0017
VOLUMEN	0.21	1	0.21	0.18	0.6746
VARIEDAD*VOLUMEN	0.48	2	0.24	0.21	0.8125
Error	17.26	15	1.15		
Total	42.18	23			

Test: Tukey Alfa=0.01

DMS=1.83393

Error: 1.1505

gl: 15

**Cuadro A-38.** Prueba de tukey de Variedades

<u>VARIEDAD</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>
Soloma	8.31	8	0.38 A
Tollocan	6.25	8	0.38 B
Icta Frit	6.22	8	0.38 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.01$ )

Test:Tukey Alfa=0.01 DMS=1.29036 Error: 1.1505

gl: 15

**CuadroA-39.** Prueba de tukey de Volúmenes

<u>VOLUMEN</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>
4.5	7.02	12	0.31 A
2.5	6.83	12	0.31 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.01$ )

Test:Tukey Alfa=0.01 DMS=3.10823

Error: 1.1505

gl: 15

**Cuadro A-40.** Prueba de tukey Interacción de Volumen\* Variedad

<u>VARIEDAD</u>	<u>VOLUMEN</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>
Soloma	2.5	8.38	4	0.54 A
Soloma	4.5	8.25	4	0.54 A
Icta Frit	4.5	6.50	4	0.54 A
Tollocan	4.5	6.31	4	0.54 A
Tollocan	2.5	6.19	4	0.54 A
Icta Frit	2.5	5.94	4	0.54 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.01$ )

**Cuadro A-41.** Análisis de la varianza de la variable Peso de mini tubérculos

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R<sup>2</sup></u>	<u>R<sup>2</sup> Aj</u>	<u>CV</u>
PESO (G)	24	0.60	0.38	27.61

Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	44.09	8	5.51	2.78	0.0421
BLOQUE	5.72	3	1.91	0.96	0.4367
VARIEDAD	36.40	2	18.20	9.17	0.0025
VOLUMEN	0.12	1	0.12	0.06	0.8055
VARIEDAD*VOLUMEN	1.85	2	0.92	0.46	0.6369
Error	29.78	15	1.99		
Total	73.87	23			

Test:Tukey Alfa=0.01

DMS=2.40898 Error: 1.9852

gl: 15

**Cuadro A-42.** Prueba de tukey de Variedades

VARIEDAD	Medias	n	E.E.
Soloma	6.14	8	0.50 A
Tollocan	5.80	8	0.50 A
Icta Frit	3.37	8	0.50 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.01$ )

Test:Tukey Alfa=0.01 DMS=1.69496

Error: 1.9852 gl: 15

**Cuadro A-43.** Prueba de tukey de Volúmenes

VOLUMEN	Medias	n	E.E.
4.5	5.18	12	0.41 A
2.5	5.03	12	0.41 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.01$ )

Test:Tukey Alfa=0.01 DMS=4.08285

Error: 1.9852 gl: 15

**Cuadro A-44.** Prueba de tukey Interacción de Variedad\*Volumen

VARIEDAD	VOLUMEN	Medias	n	E.E.
Soloma	2.5	6.43	4	0.70 A
Tollocan	4.5	6.18	4	0.70 A
Soloma	4.5	5.85	4	0.70 A
Tollocan	2.5	5.42	4	0.70 A
Icta Frit	4.5	3.51	4	0.70 A
Icta Frit	2.5	3.24	4	0.70 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.01$ )

**Cuadro A-45.** Análisis de la varianza de la variable Largo de mini tubérculo

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
LONGITUD (cm)	24	0.54	0.30	19.76

Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	6.72	8	0.84	2.22	0.0869
BLOQUE	0.90	3	0.30	0.79	0.5170
VARIEDAD	5.38	2	2.69	7.12	0.0067
VOLUMEN	0.13	1	0.13	0.33	0.5720
VARIEDAD*VOLUMEN	0.31	2	0.16	0.42	0.6672
Error	5.67	15	0.38		
Total	12.38	23			

Test:Tukey Alfa=0.01 DMS=1.05100

Error: 0.3779 gl: 15

**Cuadro A-46.** Prueba de tukey de Variedades

<u>VARIEDAD</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>
Tollocan	3.53	8	0.22 A
Soloma	3.36	8	0.22 A B
Icta Frit	2.45	8	0.22 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.01$ )

Test: Tukey Alfa=0.01 DMS=0.73948 Error: 0.3779 gl: 15

**Cuadro A-47.** Prueba de tukey de Volúmenes

<u>VOLUMEN</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>
4.5	3.18	12	0.18 A
2.5	3.04	12	0.18 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.01$ )

Test: Tukey Alfa=0.01 DMS=1.78128

Error: 0.3779 gl: 15

**Cuadro A-48.** Prueba de tukey Interacción Variedad \* Volumen

<u>VARIEDAD</u>	<u>VOLUMEN</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>
Tollocan	4.5	3.69	4	0.31 A
Soloma	2.5	3.45	4	0.31 A
Tollocan	2.5	3.36	4	0.31 A
Soloma	4.5	3.27	4	0.31 A
Icta Frit	4.5	2.59	4	0.31 A
Icta Frit	2.5	2.31	4	0.31 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.01$ )

**Cuadro A-49.** Análisis de la varianza de la variable Diámetro de mini tubérculo

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R<sup>2</sup></u>	<u>R<sup>2</sup> Aj</u>	<u>CV</u>
Diámetro tubérculo (cm)	24	0.52	0.26	23.99

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

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	6.65	8	0.83	2.00	0.1176
BLOQUE	2.23	3	0.74	1.79	0.1918
VARIEDAD	4.13	2	2.07	4.97	0.0221
VOLUMEN	0.25	1	0.25	0.61	0.4481
VARIEDAD*VOLUMEN	0.03	2	0.02	0.04	0.9620
Error	6.23	15	0.42		
Total	12.88	23			

Test: Tukey Alfa=0.01 DMS=1.10220

Error: 0.4156 gl: 15



**Cuadro A-50.** Prueba de tukey de Variedades

<u>VARIEDAD</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>
Soloma	3.24	8	0.23 A
Tollocan	2.59	8	0.23 A
Icta Frit	2.24	8	0.23 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.01$ )

Test:Tukey Alfa=0.01 DMS=0.77551

Error: 0.4156 gl: 15

**Cuadro A-51.** Prueba de tukey de Volúmenes

<u>VOLUMEN</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>
2.5	2.79	12	0.19 A
4.5	2.58	12	0.19 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.01$ )

Test:Tukey Alfa=0.01 DMS=1.86807

Error: 0.4156 gl: 15

**Cuadro A-52.** Prueba de tukey interacción Variedad\* Volumen

<u>VARIEDAD</u>	<u>VOLUMEN</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>
Soloma	2.5	3.37	4	0.32 A
Soloma	4.5	3.10	4	0.32 A
Tollocan	2.5	2.71	4	0.32 A
Tollocan	4.5	2.47	4	0.32 A
Icta Frit	2.5	2.29	4	0.32 A
Icta Frit	4.5	2.19	4	0.32 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.01$ )

**Cuadro A-53.** Parámetros de clasificación de mini-tubérculos de papa (variedad Tollocan).

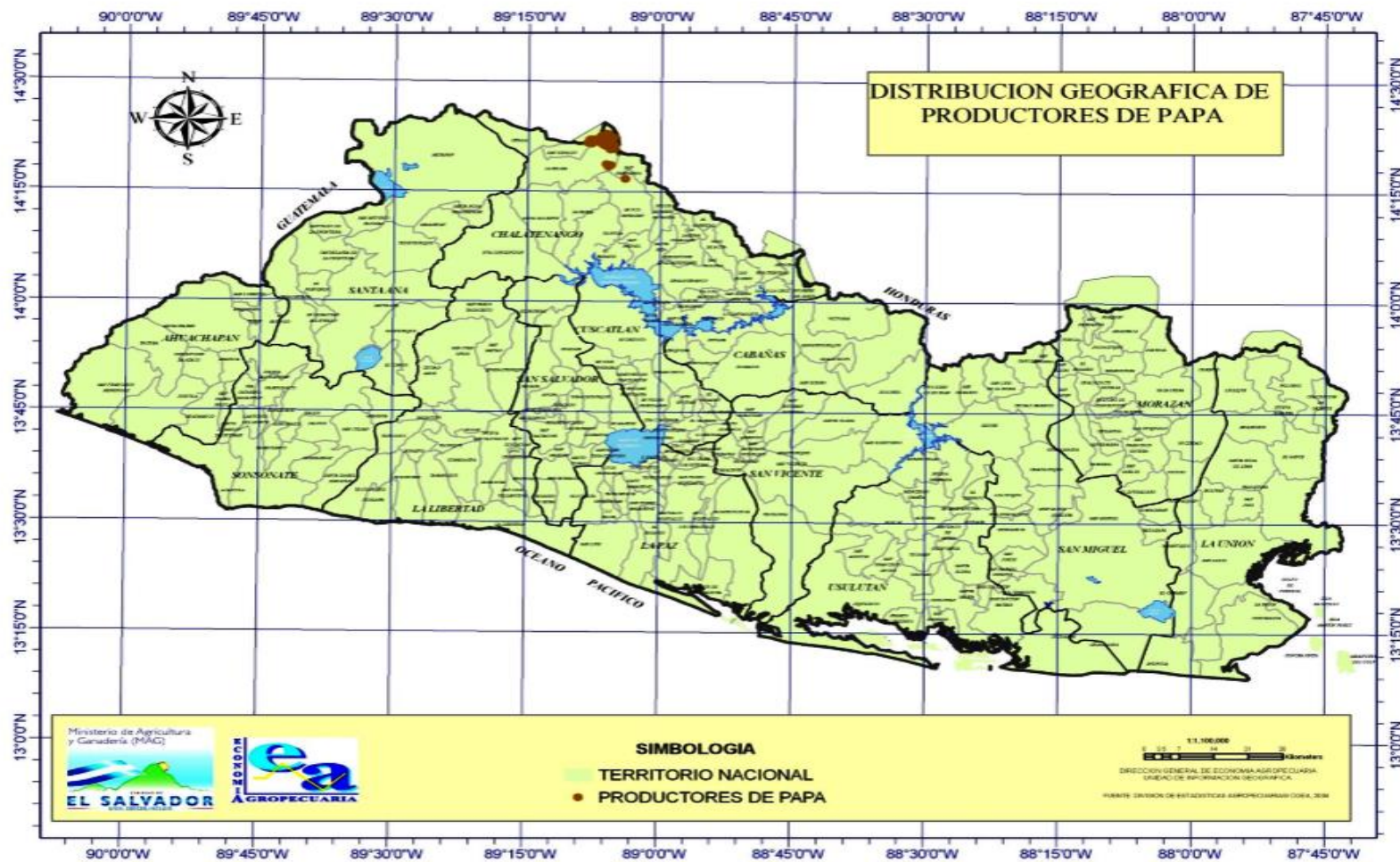
<b>Categorías</b>	<b>Pesos (g)</b>	<b>Diámetro (cm)</b>
<b>Grande</b>	> 10	> 1.9
<b>Mediana</b>	5-10	1.4-1.8
<b>Pequeña</b>	<5	<1.4

**Cuadro A-54.** \*Parámetros de clasificación de mini-tubérculos de papa (variedad soloma e icta frit).

<b>Categorías</b>	<b>Pesos (g)</b>	<b>Diámetro (cm)</b>
<b>Grande</b>	> 15	>2.45
<b>Mediana</b>	8-15	1.8-2.3
<b>Pequeña</b>	<8	<1.8

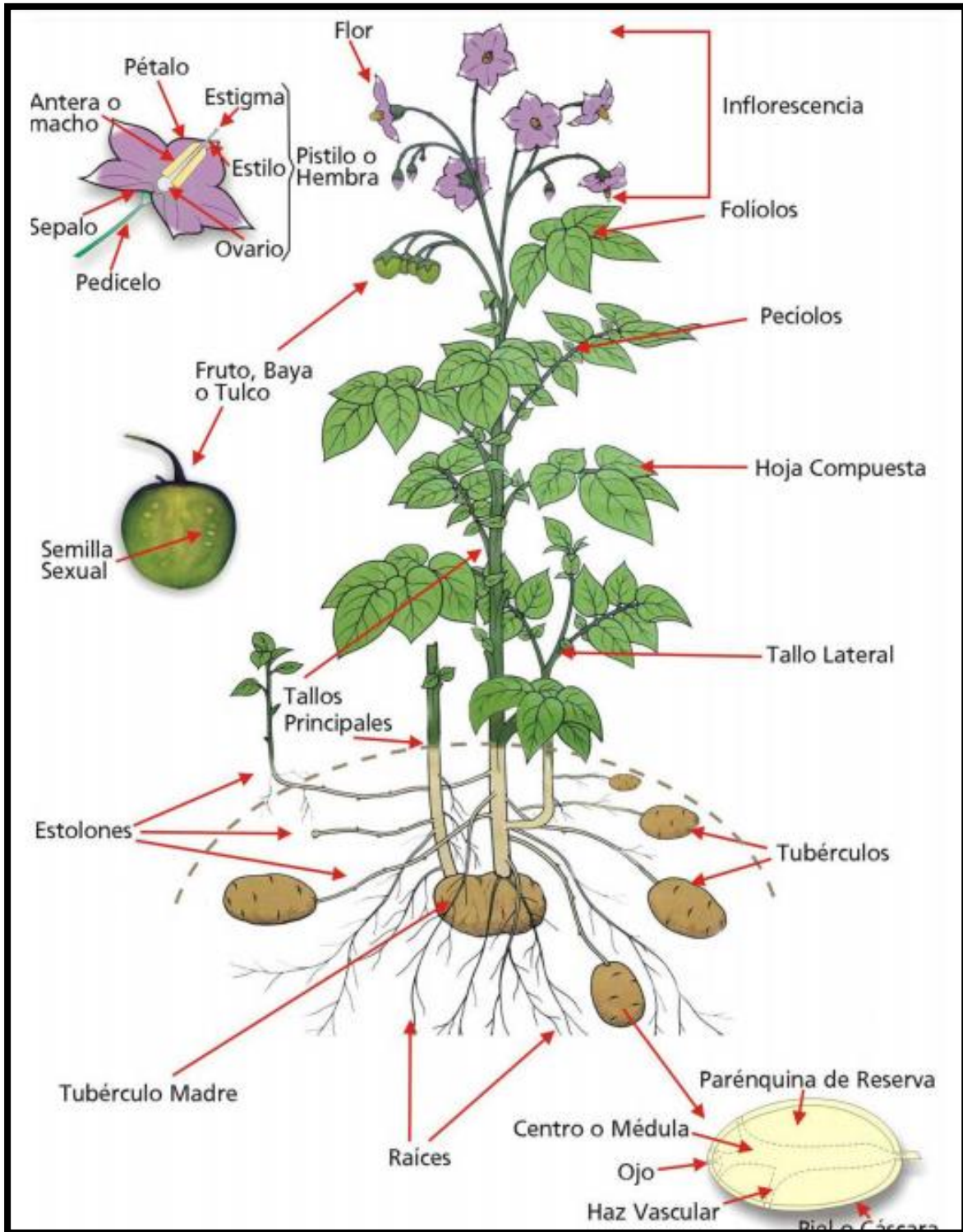
---

\*Kyeong Koog; Balmore Martínez. 2016. Proyecto KOICA. Desarrollo de las capacidades técnicas para la producción de semilla de papa libre de virus y el mejoramiento del sistema de extensión para los productores en El Salvador. (Correo Electrónico), Universidad de El Salvador, San Salvador, SV



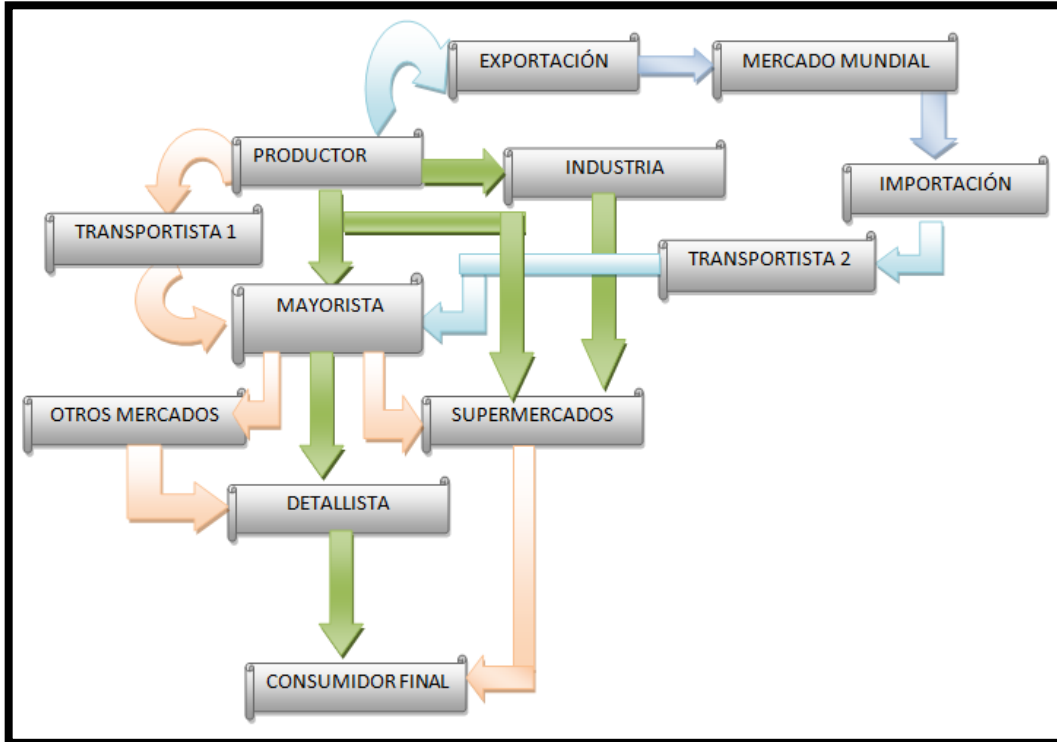
**Figura A-1.** Mapa de Distribución Geografía de Productores de papa en el año 2007 hasta la actualidad

**Fuente:** MAG 2007



**Figura A-2.** Morfología de la planta de papa

**Fuente:** INIA (Instituto de Investigaciones Agropecuarias, 2009)



**Figura A-3.** Canales de comercialización

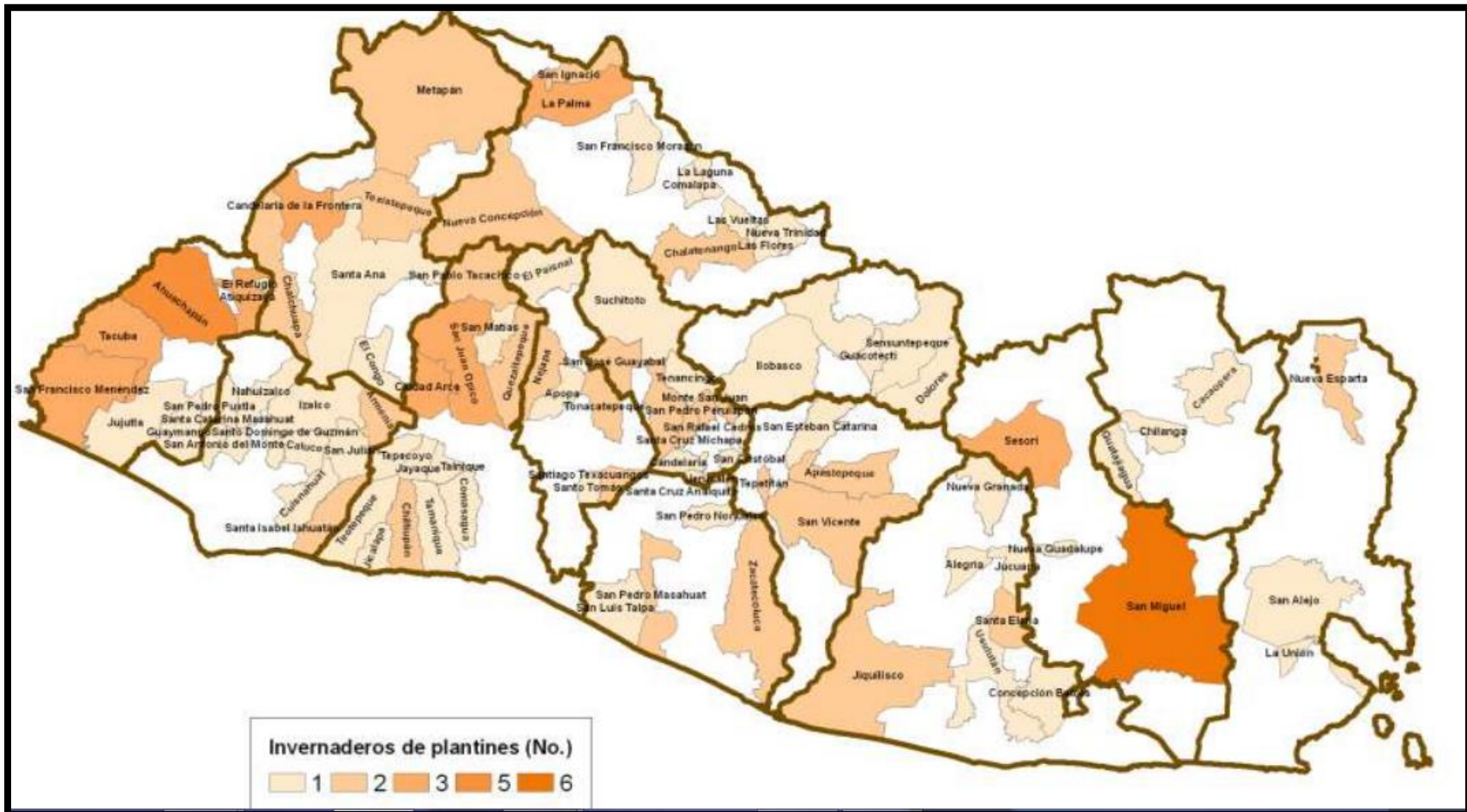
**Fuente:** Elaboración propia, 2016



**Figura A-4.** Vitroplantas o plantas In Vitro

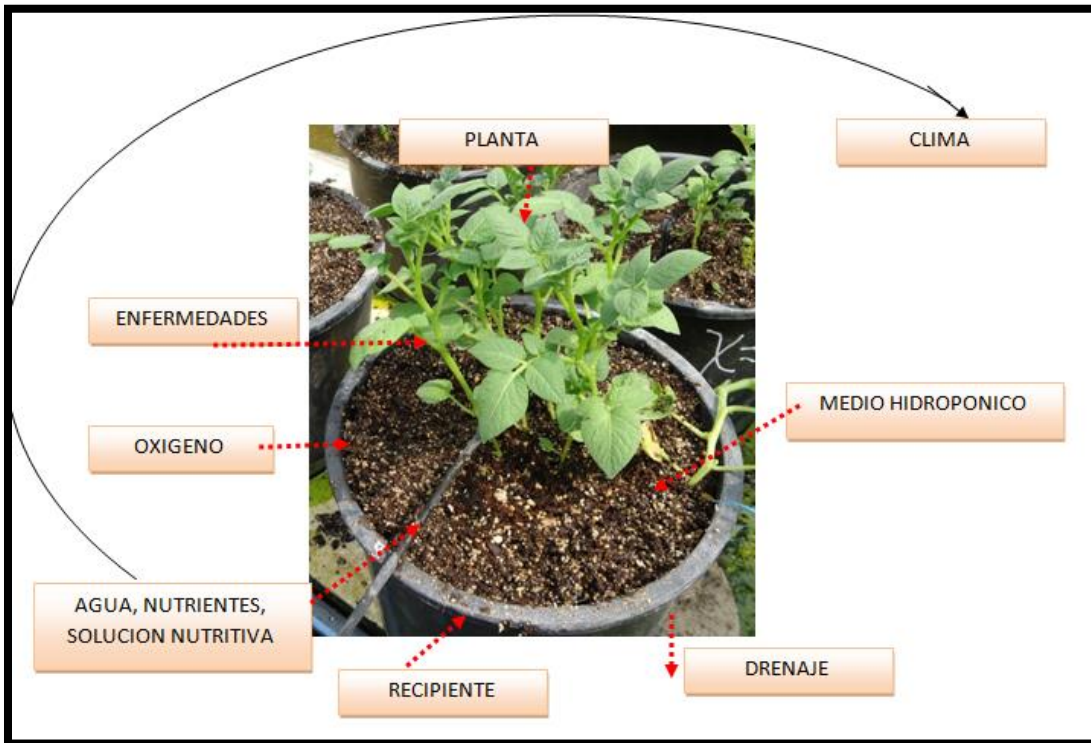
**Fuente:** Fotografía tomada de la investigación, 2015





**Figura A-5.** Localización Municipal de Invernaderos para Plántines de Hortalizas

**Fuente:** CENTA ,2011



**Figura A-6.** Elementos de la Hidroponía

**Fuente:** Elaboración propia



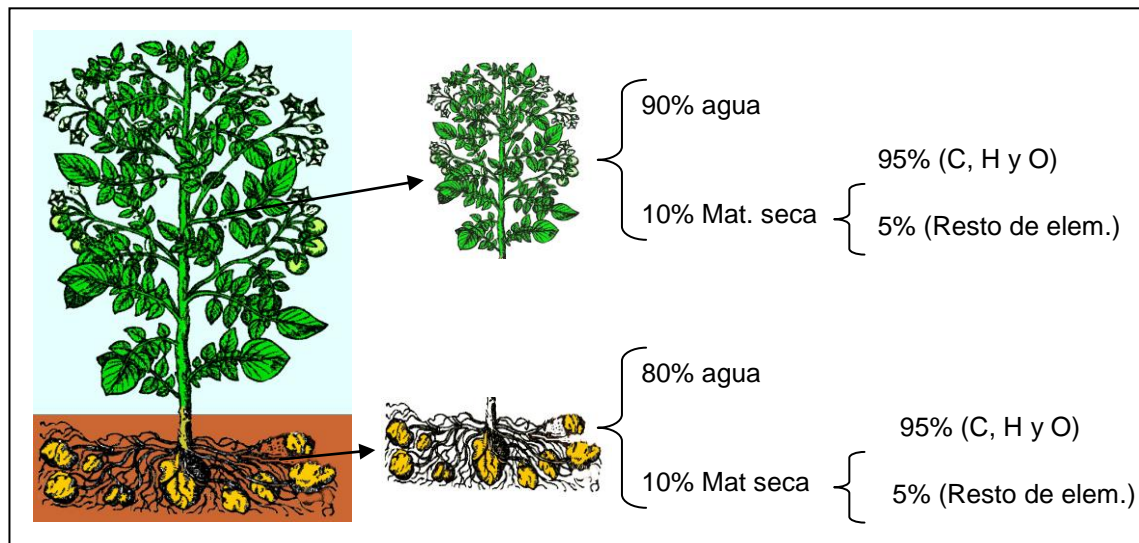
**Figura A-7.** Piedra pómez

**Fuente:** Hidroenvironment, 2016



**Figura A-8.** Tipos de fibra de coco

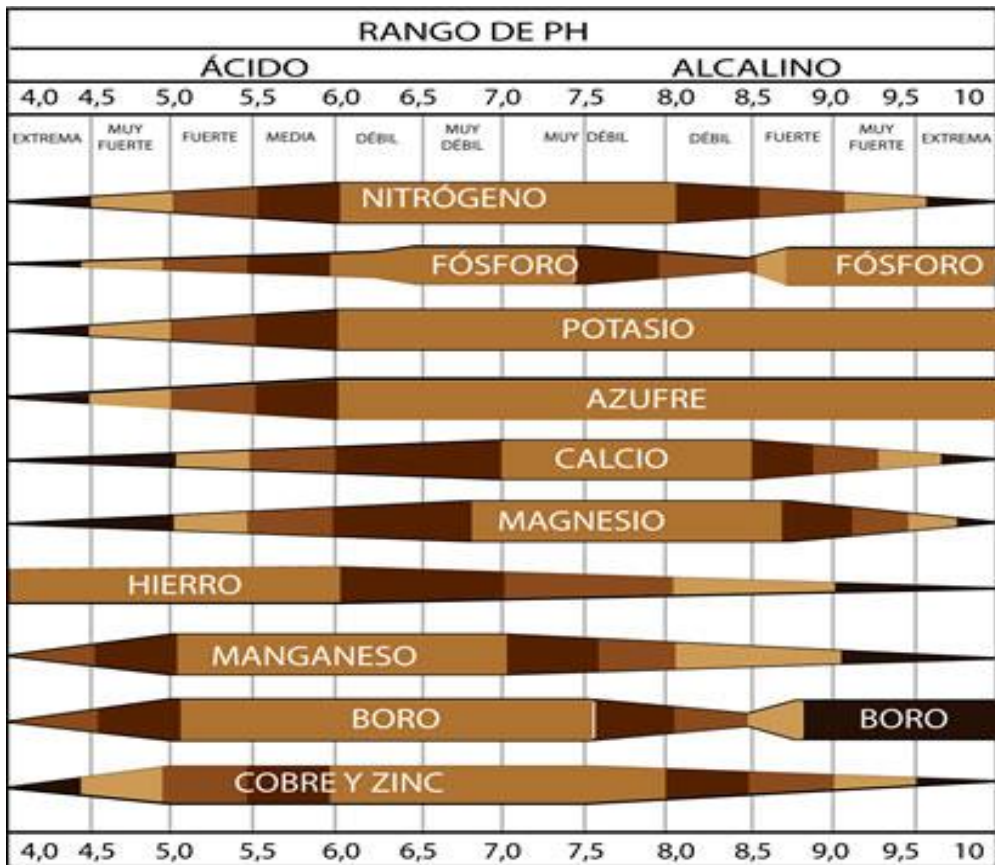
**Fuente:** AGROMATICA, 2014



**Figura A-9.** Composición de la planta de papa.

**Fuente:** Ellisseche, D. 2002





**Figura A-10.** Efecto del pH en la disponibilidad de nutrientes; Mediante este esquema se muestra en que niveles se encuentran disponibles los elementos esenciales para la planta en su desarrollo, entre más gruesa la barra mayor asimilación y caso contrario cuando es angosta.

**Fuente:** Hidroenvironment, sf.



**Figura A-11.** Invernadero con forma semicircular



**Figura A-12.** Micro túnel



**Figura A-13.** Sembrado de plantas In vitro



**Figura A-14.** Fertilización por sub irrigación



**Figura A-15.** Desinfección de sustrato



**Figura A-16.** Extracción de plántula In vitro



**Figura A-17.** Trasplante de plantas a macetas





**Figura A-18.** Aplicación de plaguicidas



**Figura A-19.** Proceso de curado de la papa



**Figura A-20.** Medición de las Altura de planta.



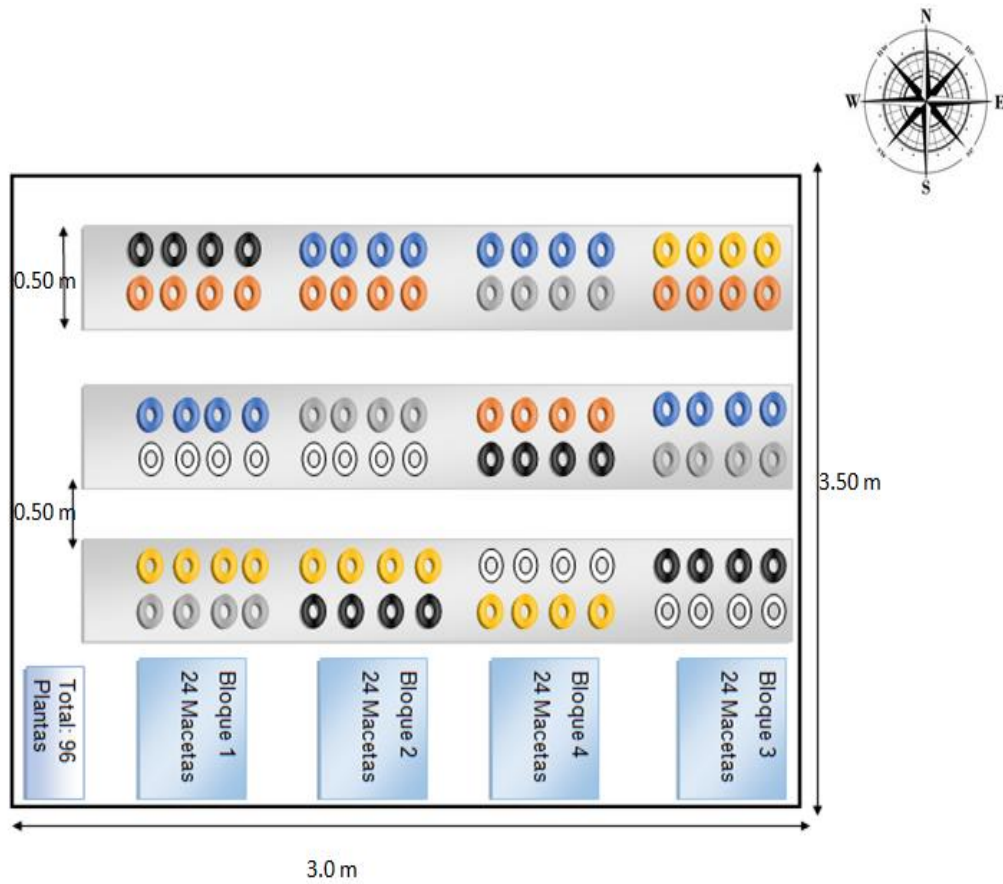
**Figura A-21.** Toma del diámetro de tallo



**Figura A-22.** Pesado de los mini tubérculos



**Figura A-23.**Toma distal del minitubérculo **Figura A-24.**Toma ecuatorial minituberculos



**Figura A-25.** Plano del montaje del cultivo en el invernadero





Categoría pequeña

Categoría Mediana

Categoría Grande

**Fig A- 26.** Categorías por apreciación de Mini tubérculos de papa G1 de la variedad Tollocan



Categoría pequeña

Categoría Mediana

Categoría Grande

**Fig A- 27.** Categorías por apreciación de Mini tubérculos de papa G1 de la variedad Soloma



Categoría pequeña

Categoría Mediana

Categoría Grande

**Fig A-28.** Categorías por apreciación de Mini tubérculos de papa G1 de la variedad Icta