

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

**ESCUELA DE POST GRADO**

**MAESTRIA EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**



**“EFECTO DEL AMBIENTE SOBRE LA PRODUCCIÓN DE  
MINITUBÉRCULOS DE 10 GENOTIPOS DE PAPA CULTIVADOS  
BAJO UN SISTEMA AEROPÓNICO”**

**Presentado por:**

**JULIÁN FERNANDO MATEUS RODRÍGUEZ**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE  
MAGISTER SCIENTIAE EN  
PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

**Lima – Perú**

**2010**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

**ESCUELA DE POST GRADO**

**MAESTRIA EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

**“EFECTO DEL AMBIENTE SOBRE LA PRODUCCIÓN DE  
MINITUBÉRCULOS DE 10 GENOTIPOS DE PAPA CULTIVADOS  
BAJO UN SISTEMA AEROPÓNICO”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE  
MAGISTER SCIENTIAE EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

**Presentado por: JULIAN FERNANDO MATEUS RODRIGUEZ**

M.Sc. Gilberto Rodríguez Soto

**PRESIDENTE**

M.Sc. Alfredo Rodríguez Delfín

**PATROCINADOR**

Ph.D Hugo Soplín Villacorta

**MIEMBRO**

M.Sc. Julián Chura Chuquija

**MIEMBRO**

# INDICE GENERAL

CAPITULOS	Pag.
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1 Generalidades del cultivo.....	3
2.2 La Papa en el Perú.....	4
2.3 Importancia de la semilla de Papa.....	4
2.4 Evolución de los sistemas de producción de semillas.....	5
2.5 La técnica hidropónica en la producción.....	6
2.6 Uso de la técnica aeropónica en la producción.....	7
2.7 Factores del ambiente que afectan el desarrollo y rendimiento en el cultivo de la Papa.....	9
2.8 La interacción genotipo - ambiente (G x A).....	12
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>16</b>
3.1 Ubicación del experimento.....	16
3.2 Características de los invernaderos .....	16
3.3 Ambientes de estudio.....	17
3.3.1 Características climáticas de los ambientes.....	17
3.3.1.1 Ambiente La Molina 1 (LM1).....	18
3.3.1.2 Ambiente La Molina 2 (LM2).....	19
3.3.1.3 Ambiente La Molina 3 (LM3).....	20
3.3.1.4 Ambiente Huancayo 1 (HY1).....	21
3.3.1.5 Ambiente Huancayo 2 (HY2).....	23
3.4 Material genético.....	25
3.5 El sistema aeropónico.....	26
3.6 Composición y manejo de la solución nutritiva.....	29
3.7 Conducción del experimento.....	30
3.8 Cosecha de mini-tubérculos.....	31
3.9 Metodología para la evaluación.....	32

3.9.1	Variables de clima.....	32
3.9.2	Variables agronómicas.....	32
3.9.2.1	Evaluaciones durante la fase vegetativa del cultivo.....	32
3.9.2.2	Evaluaciones durante la cosecha.....	33
3.10	Diseño experimental.....	34
3.11	Análisis estadístico.....	35
3.12	Evaluación económica.....	41
3.12.1	Análisis de la inversión.....	41
3.12.1.1	Inversiones o costos fijos.....	41
3.12.1.2	Costos operacionales o costos variables.....	42
3.12.1.3	Ingreso bruto.....	43
3.12.2	Costo total de producción y rentabilidad.....	43
3.12.3	Indicadores de viabilidad económica.....	43
3.12.4	Análisis de sensibilidad.....	44
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>45</b>
4.1	Efecto del ambiente sobre el crecimiento y desarrollo.....	45
4.1.1	Días a la tuberización y días a la senescencia de planta.....	45
4.1.2	Altura de planta.....	52
4.1.3	Peso seco de tubérculos.....	56
4.1.4	Peso seco de planta.....	59
4.1.5	Índice de cosecha.....	62
4.2	Efecto del ambiente sobre la producción – Análisis AMMI.....	65
4.2.1	Análisis para el rendimiento por planta.....	65
4.2.2	Análisis para el número de tubérculos por planta.....	69
4.2.3	Análisis para el peso promedio de tubérculo por planta.....	73
4.3	Análisis económico.....	78
4.3.1	Análisis de la inversión.....	78
4.3.1.1	Inversiones o costos fijos.....	78
4.3.1.2	Costos operacionales o costos variables.....	81
4.3.2	Costos totales de producción y rentabilidad.....	84
4.3.3	Indicadores de viabilidad económica.....	87
4.3.4	Análisis de sensibilidad.....	90

<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>92</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>94</b>
<b>VII.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>95</b>
<b>VIII.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>107</b>

## INDICE DE CUADROS

	Pag.
Cuadro1. Ambientes de estudio. ....	17
Cuadro2. Promedio de las características climáticas de los 5 ambientes de estudio. ....	25
Cuadro 3. Principales características de los genotipos empleados en la investigación. ....	25
Cuadro 4. Concentración de macro y micro nutrientes en partes por millón (ppm) utilizada en la investigación. ....	29
Cuadro 5. Fechas de siembra de cada ambiente de estudio. ....	30
Cuadro 6. Fechas de cosechas realizadas para cada ambiente de estudio. ....	31
Cuadro 7. Tratamientos evaluados. ....	34
Cuadro 8. Análisis de variancia para un ambiente. ....	36
Cuadro 9. ANVA combinado de Genotipos y Ambientes y estimación de componentes de variancia para un modelo fijo (Ambientes y Genotipo factores de efecto fijo). ....	37
Cuadro 10. Análisis AMMI de variancia. ....	39
Cuadro 11. ANVA combinado para las variables fenológicas de 10 genotipos de papa evaluados en diferente número de ambientes. ....	46
Cuadro 12. Análisis de la calidad de luz en $W m^{-2}$ para las condiciones exteriores y de invernadero en cada localidad. ....	49
Cuadro 13. ANVA combinado para las variables de crecimiento y desarrollo de 10 genotipos de papa evaluados en diferente número de ambientes. ....	53

Cuadro 14. Análisis AMMI para el rendimiento de tubérculos ( $\text{g planta}^{-1}$ ) de 10 genotipos de papa evaluados en 5 ambientes durante el periodo 2008-2010. ....	65
Cuadro 15. Rendimiento promedio de tubérculos en $\text{g/planta}$ de 10 genotipos de papa evaluados en 5 ambientes y valores de las coordenadas de los dos primeros componentes principales para genotipos y ambientes. ....	67
Cuadro 16. Análisis AMMI para el número de tubérculos por planta de 10 genotipos de papa evaluados en 5 ambientes durante el periodo 2008-2010. ....	69
Cuadro 17. Número promedio de tubérculos por planta de 10 genotipos de papa evaluados en 5 ambientes y valores de las coordenadas de los dos primeros componentes principales para genotipos y ambientes. ....	71
Cuadro 18. Análisis AMMI para el peso promedio de tubérculo en $\text{g}$ de 10 genotipos de papa evaluados en 5 ambientes durante el periodo 2008-2010. ....	74
Cuadro 19. Peso promedio de tubérculo en $\text{g}$ de 10 genotipos de papa evaluados en 5 ambientes y valores de las coordenadas de los dos primeros componentes principales para genotipos y ambientes. ....	76
Cuadro 20. Inversiones en infraestructura para la implementación de un módulo aeropónico de $80 \text{ m}^2$ (invernadero $5 \times 16 \text{ m}$ ) para la producción de mini tubérculos de papa. Valores expresados en US \$ a Diciembre del 2009. ....	78
Cuadro 21. Inversiones para la construcción de un módulo aeropónico para la producción de mini-tubérculos de papa en un invernadero de $80.\text{m}^2$ . Valores expresados en US \$ a Diciembre del 2009. ....	79
Cuadro 22. Inversiones en otros equipos y materiales para la producción de mini tubérculos de papa bajo un sistema aeropónico en un invernadero de $80.\text{m}^2$ . Valores expresados en US \$ a Diciembre de 2009. ....	80

Cuadro 23. Costos de materiales e insumos para una campaña de producción de mini-tubérculos de papa bajo un sistema aeropónico en un invernadero de 80.m <sup>2</sup> . Valores expresados en US \$ a Diciembre de 2009. ....	82
Cuadro 24. Otros costos estimados para una campaña de producción de mini-tubérculos de papa bajo un sistema aeropónico en un invernadero de 80.m <sup>2</sup> . Valores expresados en US \$ a Diciembre de 2009. ....	83
Cuadro 25. Costos de personal estimados para una campaña de producción de mini-tubérculos de papa bajo un sistema aeropónico en un invernadero de 80.m <sup>2</sup> . Valores expresados en US \$ a Diciembre de 2009. ....	83
Cuadro 26. Costo de producción total de una campaña para la producción de mini-tubérculos de papa bajo un sistema aeropónico en un invernadero de 80m <sup>2</sup> . Valores expresados en US \$ a Diciembre de 2009. ....	84
Cuadro 27. Ingresos brutos, beneficios netos y rentabilidad por campaña de tres genotipos con diferentes rendimientos de mini-tubérculos por planta bajo un sistema aeropónico en un invernadero de 80m <sup>2</sup> . Valores expresados en US \$ a Diciembre de 2009. ....	85
Cuadro 28. Flujo de caja de inversión para la producción de mini-tubérculos de papa bajo un sistema aeropónico en un invernadero de 80m <sup>2</sup> , en US \$ de Diciembre de 2009. ....	87
Cuadro 29. Indicadores de viabilidad económica para la producción de mini-tubérculos de papa bajo un sistema aeropónico en un invernadero de 80m <sup>2</sup> , en US \$ de Diciembre de 2009. ....	89
Cuadro 30. Análisis de sensibilidad de la viabilidad económica para la producción de mini-tubérculos de papa bajo un sistema aeropónico en un invernadero de 80m <sup>2</sup> , en US \$ de Diciembre de 2009. ....	90

## INDICE DE FIGURAS

	Pag
Figura 1. Características climáticas dentro del invernadero en el ambiente de Costa LM1: A) temperatura máxima, media y mínima promedio en invernadero y mínima en el contenedor de cultivo, B) radiación fotosintéticamente activa – PAR máxima diaria y humedad relativa promedio en invernadero. ....	18
Figura 2. Características climáticas dentro del invernadero en el ambiente de Costa LM2: A) temperatura máxima, media y mínima promedio en invernadero y mínima en el contenedor de cultivo, B) radiación fotosintéticamente activa – PAR máxima diaria y humedad relativa promedio en invernadero. ....	19
Figura 3. Características climáticas dentro del invernadero en el ambiente de Costa LM3: A) temperatura máxima, media y mínima promedio en invernadero y mínima en el contenedor de cultivo, B) radiación fotosintéticamente activa – PAR máxima diaria y humedad relativa promedio en invernadero. ....	20
Figura 4. Características climáticas dentro del invernadero en el ambiente de Sierra HY1: A) temperatura máxima, media y mínima promedio en invernadero y mínima en el contenedor de cultivo, B) radiación fotosintéticamente activa – PAR máxima diaria y humedad relativa promedio en invernadero. ....	22
Figura 5. Características climáticas dentro del invernadero en el ambiente de Sierra HY2: A) temperatura máxima, media y mínima promedio en invernadero y mínima en el contenedor de cultivo, B) radiación fotosintéticamente activa – PAR máxima diaria y humedad relativa promedio en invernadero. ....	23
Figura 6. Esquema del diseño experimental empleado. ....	35
Figura 7. Gráfico de la interacción G x A para días a la tuberización de los distintos genotipos cultivados en diferentes ambientes: A) genotipos medianamente tardíos y	

variedad tardía, y B) genotipos precoces. Cuadro de comparación de medias de genotipos en los niveles de cada ambiente; dentro de cada tratamiento valores medios con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey  $P < 0,05$ ). .....47

Figura 8. Gráfico de la interacción G x A para días a la senescencia de los distintos genotipos cultivados en diferentes ambientes: A) genotipos medianamente tardíos y variedad tardía, y B) genotipos precoces. Cuadro de comparación de medias de genotipos en los niveles de cada ambiente; dentro de cada tratamiento valores medios con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey  $P < 0,05$ ). .....51

Figura 9. Gráfico de la interacción G x A para altura de planta en cm de los distintos genotipos cultivados en diferentes ambientes: A) genotipos medianamente tardíos y variedad tardía, y B) genotipos precoces. Cuadro de comparación de medias de genotipos en los niveles de cada ambiente; dentro de cada tratamiento valores medios con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey  $P < 0,05$ ). .....54

Figura 10. Gráfico de la interacción G x A para peso seco de tubérculos en  $g \text{ planta}^{-1}$  de los distintos genotipos cultivados en diferentes ambientes: A) genotipos medianamente tardíos y variedad tardía, y B) genotipos precoces. Cuadro de comparación de medias de genotipos en los niveles de cada ambiente; dentro de cada tratamiento valores medios con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey  $P < 0,05$ ). .....57

Figura 11. Gráfico de la interacción G x A para peso seco de planta ( $g \text{ planta}^{-1}$ ) de los distintos genotipos cultivados en diferentes ambientes: A) genotipos medianamente tardíos y variedad tardía, y B) genotipos precoces. Cuadro de comparación de medias de genotipos en los niveles de cada ambiente; dentro de cada tratamiento valores medios con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey  $P < 0,05$ ). .....60

Figura 12. Gráfico de la interacción G x A para el índice de cosecha de los distintos genotipos cultivados en diferentes ambientes: A) genotipos medianamente tardíos y variedad tardía, y B) genotipos precoces. Cuadro de comparación de medias de genotipos en los niveles de cada ambiente; dentro de cada tratamiento valores medios con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey  $P < 0,05$ ). .....63

Figura 13. Biplot del análisis AMMI para el rendimiento de tubérculos (g planta <sup>-1</sup> ) de 10 genotipos de papa evaluados en 5 ambientes durante el periodo 2008 – 2010.....	66
Figura 14. Doble representación gráfica del CP1 en función del rendimiento promedio (g planta <sup>-1</sup> ) de 10 genotipos de papa evaluados en 5 ambientes durante el periodo 2008 – 2010. ....	68
Figura 15. Biplot del análisis AMMI para el número de tubérculos por planta de 10 genotipos de papa evaluados en 5 ambientes durante el periodo 2008 – 2010. ....	70
Figura 16. Doble representación gráfica del CP1 en función del rendimiento número de tubérculos por planta de 10 genotipos de papa evaluados en 5 ambientes durante el periodo 2008 – 2010. ....	72
Figura 17. Biplot del análisis AMMI para el peso promedio de tubérculo en g de 10 genotipos de papa evaluados en 5 ambientes durante el periodo 2008 – 2010. ....	75
Figura 18. Doble representación gráfica del CP1 en función del peso promedio de tubérculo de 10 genotipos de papa evaluados en 5 ambientes durante el periodo 2008 – 2010. ....	77

## INDICE DE FOTOS

	Pag
Fotografía 1. Vista de los invernaderos utilizados para la producción de semilla prebásica. A) invernadero de CIP Lima (244 msnm); B) invernadero de CIP Huancayo (3.259 msnm). .....	17
Fotografía 2. Detalles del sistema aeropónico para la producción de mini tubérculos de papa. A) Construcción de contenedores o cajones de cultivo; B) Detalle cabezal de riego; C) Manguera de riego y nebulizadores en funcionamiento; D) Plántulas de papa trasplantadas; E) Sistema de tutoreo de plantas; F) Ventana lateral para cosecha de mini tubérculos. ....	28

## INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Promedios cada 10 días de las variables climáticas para los diferentes ambientes de evaluación.

Anexo 2. Preparación de la Formula Hidropónica La Molina ®

Anexo 3. Cuadro de ocurrencia de plagas y enfermedades en los ambientes de evaluación y control fitosanitario realizado

Anexo 4 ANVA combinado para cada una de las variables de interés; descomposición de la variabilidad correspondiente a Genotipo y a la interacción GxA

Anexo 5 Análisis de varianza simple de las variables de interés por cada ambiente de estudio

Anexo 6. Cuadro de comparación de medias entre tratamientos por ambiente de estudio

Anexo 7. Descomposición de efectos simples de la interacción G x A para los distintos genotipos en las variables de interés

Anexo 8. Detalle de las inversiones para la construcción de un módulo aeropónico para la producción de mini-tubérculos de papa en un invernadero de 80 m<sup>2</sup>, en US \$ de Diciembre de 2009

Anexo 9. Costos de materiales e insumos para una campaña de producción de mini-tubérculos de papa bajo un sistema aeropónico en un invernadero de 80 m<sup>2</sup>,

**MATEUS, J. 2010. Efecto del ambiente sobre la producción de minitubérculos de 10 genotipos de papa cultivados bajo un sistema aeropónico. Tesis Mg. Sc. Lima, Perú.**

## **RESUMEN**

El Centro Internacional de la Papa en Lima (CIP) Perú, viene promoviendo el uso del sistema aeropónico para la producción de mini-tubérculos. Esta técnica se propone como una alternativa de los esquemas convencionales, que utilizan sustratos costosos y productos de desinfección de alta toxicidad. Estudios previos han presentado esta técnica como eficiente para la producción de mini-tubérculos con una interesante respuesta debido al cultivar empleado. El objetivo de éste estudio fue el de evaluar el efecto del ambiente sobre el crecimiento, desarrollo y producción de mini-tubérculos de papa de 10 genotipos de papa cultivados bajo un sistema aeropónico, así como la factibilidad económica de la tecnología. El set de genotipos se sembró bajo la técnica de aeroponía en dos invernaderos ubicados en las estaciones CIP de La Molina (Lima) y Santa Ana (Huancayo). Se realizaron 5 ensayos en diferentes épocas de siembra. El diseño estadístico utilizado fue de Bloques Completos al Azar (DBCA) con 3 repeticiones, donde los genotipos constituyeron los respectivos tratamientos. Se realizó un análisis de variancia combinado para las variables agronómicas de crecimiento y desarrollo y un análisis AMMI (*Additive Main Effect and Multiplicative Interaction*) para las variables de producción. Los principales resultados mostraron una alta variación en todas las respuestas; los días a la tuberización fueron influenciados por el componente genético, la temperatura y la intensidad del PAR bajo invernadero. Se registraron incrementos en los ciclos vegetativos para todos los genotipos, además la altura y el peso seco de planta fueron mayores en los ambientes cálidos de Costa. El análisis AMMI mostró que para el rendimiento promedio, número de tubérculos por planta y peso promedio de tubérculo, la variación estuvo relacionada principalmente al efecto genotípico seguido del efecto de genotipo por ambiente. Venturana (T2) fue el mejor genotipo con un rendimiento de 644 g planta<sup>-1</sup>, mientras Chucmarina (T1) fue el mejor con en número de tubérculos por planta de 60.17 minis planta<sup>-1</sup>, mostrando mayor estabilidad a lo largo de los ambientes de prueba; en contraste los genotipos T3 (395434,1), T5 (397077,16) y T6 (397073,16) presentaron estabilidad en los ambientes de prueba, pero sus promedios en rendimiento y número de tubérculos por planta estuvieron por debajo de la media general del ensayo. Por otro lado los mejores pesos promedios de tubérculo estuvieron en los ambientes de Costa (LM1, LM2 y LM3)

versus los ambientes de Sierra (HY1 y HY2). El análisis económico realizado, permitió ver que con una inversión aproximada de US \$ 9.000 y de operación de US \$ 1.526 por campaña, el sistema aeropónico puede ser factible siempre y cuando se alcancen rendimientos superiores de 30 minis planta<sup>-1</sup>, con un precio de venta de US \$0.22 por unidad de mini-tubérculo.

**Palabras clave:** Sistema aeropónico, producción de mini-tubérculos, ambientes, efecto genotípico, efecto del ambiente, factibilidad económica.

**MATEUS, J. 2010. Environmental effect on minitubers production of 10 potato genotypes grown under aeroponics system. M.Sc. Thesis. Lima, Perú. 120 p.**

### **SUMMARY**

The International Potato Center (CIP) Lima – Peru has been promoting the production of pre-basic potato seeds through the use of the aeroponics system. This technique is proposed as an alternative to conventional systems that use expensive substrates and products, that are highly toxic, used to sterilize the materials. Previous studies on this technique have presented it as efficient to produce potato mini-tubers; with an interesting response according to employed cultivar. The experiment's target was to evaluate the environmental effect on the growth, development and production of the mini-tubers of 10 potato clones grown in an aeroponic system; and the economic feasibility of the technology. The genotypes' set was grown on an aeroponics system in two greenhouses located in the La Molina (Lima) and the Santa Ana (Huancayo) CIP's experimental stations. The statistical design was a randomized complete block with 3 replications, where the clones were the treatments. A combined variance analysis was performed for agronomics traits of the growth and crop development and an AMMI (*Additive Main Effect and Multiplicative Interaction*) for the production variables. The main results and conclusions showed a high variation in all variables. The tuberization days were influenced by genetic responses, temperature and greenhouse PAR intensity. The increases in the vegetative cycle for all genotypes, plant height and plant dry weight in Costa warm environments were recorded. The AMMI analysis showed that for the yield, number of tubers per plant and average tuber weight the variation was related mainly to the genotypic effect followed by the interaction of genotype by environment. Venturana cultivar (T2) was the best genotype with a yield of 644 g per plant, while Chucmarina cultivar (T1) was the best in number of tubers with 60.17 tubers per plant, showing a high stability across the essayed environments. In contrast, the advanced clones T3 (395,434.1), T5 (397,077.16) and T6 (397,073.16) showed stability in the essayed environments, but their yield and number of mini-tubers per plant, were below the overall average of the trial. The best average in tuber weights was recorded in the Costa environments (LM2, LM2 and LM3) versus the Sierra environments (HY1 and HY2). The economic analysis, allowed to see that, with an approximate investment of US \$ 9.000 and an operational cost of about US \$1.526, the

aeroponics system may be feasible if the production can reach yields of about 30 minis per plant and prices of US \$ 0.22 per mini-tuber

**Keywords:** Aeroponics system, mini-tuber production, environment, genotypic effect, environmental effect, economic feasibility

## I. INTRODUCCIÓN

La semilla es uno de los principales factores en la producción del cultivo de papa; es posible mejorar la producción mediante la optimización de otros componentes tales como el riego, la fertilización, el control fitosanitario, entre otros, pero si la semilla no es de buena calidad, los rendimientos pueden verse afectados. La papa se propaga de dos maneras: una vía semilla sexual (llamada "semilla verdadera") y otra vía asexual (tubérculo - semilla). La manera más común es empleando tubérculo - semilla, pero puede tener como inconveniente la propagación de enfermedades sistémicas que pasan de una generación a otra, afectando la calidad, sanidad y producción final. Uno de los desafíos de una cadena productiva, está en la disponibilidad periódica, a bajo costo y en cantidades suficientes, de material de propagación con alta calidad fitosanitaria.

Los nuevos modelos de producción vía asexual, involucran técnicas de multiplicación rápida, para la producción de mini – tubérculos bajo ambientes protegidos. Estos modelos han sido ajustados con el tiempo debido a innovaciones tecnológicas realizadas en laboratorios para la obtención masiva de plántulas y nuevas tecnologías para la producción en invernaderos (Ezeta, 2001). Se han reportado diferentes métodos de producción de mini-tubérculos utilizando técnicas de cultivos sin suelo; la ventaja de estos sistemas, está en la posibilidad de controlar la calidad sanitaria, tamaño de tubérculos y que - dependiendo del sistema usado- permiten cosechar en el tiempo sin causar daños a las plantas, incrementando el número de mini-tubérculos por planta y menor costo en la producción (Struik y Wiersema, 1999). La aeroponía, una mejora del método hidropónico, se define como un sistema en el cual las raíces de las plantas son humedecidas de manera continua o discontinua con finas gotas de agua y solución nutritiva (Nugaliyadde *et al.*, 2005).

El Centro Internacional de la Papa (CIP), ha venido promoviendo esta técnica para la producción de semilla prebásica de papa, pues puede ser una tecnología alternativa a los sistemas convencionales de producción que utilizan sustratos costosos y productos

altamente tóxicos para su desinfección. Los primeros trabajos de aeroponía realizados en el Perú, están referidos a ensayos en la Estación Santa Ana (Huancayo) del CIP por Otazu y Chuquillanqui (2007), quienes reportaron en pocos cultivares de prueba, entre 5 y 10 veces más mini-tubérculos por planta, en comparación a los sistemas que comúnmente son utilizados para la producción de semilla. Estos autores también reportaron, periodos vegetativo largos, así como diferencias en las respuestas de las variables morfológicas de altura de planta y longitud de raíz.

El crecimiento y la producción final dependen en buena medida del genotipo y el ambiente donde se encuentra establecido. El genotipo es más constante en comparación con los cambios de ambiente que una planta puede experimentar, sin embargo, las expresiones fenotípicas son fuertemente influenciadas por el ambiente (Moreno, 1985). La comprensión e identificación de las causas de una interacción genotipo x ambiente (G x A) puede ayudar a identificar los elementos que contribuyen a un mejor rendimiento o desempeño de un cultivar determinado en un medio ambiente dado y puede ser usado para identificar condiciones ideales y/o formular recomendaciones de manejo de cultivo (Yan y Hunt, 2001).

Siendo de interés conocer el efecto que tiene el ambiente sobre un conjunto variado de genotipos de papa cultivados bajo un sistema aeropónico para la producción de mini-tubérculos, así como conocer los respectivos indicadores económicos de la tecnología que permita su rápida vinculación a esquemas de producción de semillas, se planteó este trabajo de investigación con los objetivos siguientes:

- Evaluar el efecto del ambiente sobre el crecimiento y desarrollo de 10 genotipos de papa, cultivados bajo el sistema de aeroponía.
- Evaluar el efecto del ambiente sobre el rendimiento, número de tubérculos y peso promedio de tubérculo de 10 genotipos de papa, cultivados bajo el sistema de aeroponía.
- Determinar la factibilidad económica de la técnica aeropónica bajo invernadero para la producción de mini-tubérculos de papa.

## II. REVISION DE LITERATURA

### 2.1 GENERALIDADES DEL CULTIVO

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es una planta herbácea anual que alcanza una altura de un metro y produce tubérculos, la papa misma, con tan abundante contenido de almidón que ocupa el tercer lugar mundial en importancia como alimento, después del trigo y el arroz. La papa pertenece a la familia de las solanáceas, y al género *Solanum*, que incluyen por lo menos mil especies como el tomate y la berenjena. El *S. tuberosum* se divide en dos subespecies apenas diferentes: *andigena*, adaptada a condiciones de días cortos, cultivada principalmente en los Andes, y *tuberosum*, la variedad que hoy se cultiva en todo el mundo y se piensa que descende de una pequeña introducción en Europa de papas *andigena*, posteriormente adaptadas a días más largos (FAO, 2008).

La papa se cultiva en más de 100 países, en clima templado, subtropical y tropical. Es esencialmente un "cultivo de clima templado", para cuya producción la temperatura representa el límite principal: las temperaturas inferiores a 10° C y superiores a 30° inhiben decididamente el desarrollo del tubérculo, mientras que la mejor producción ocurre donde la temperatura diaria se mantiene en promedio de 18° a 20° C.

Por ese motivo la papa se siembra a principios de la primavera en las zonas templadas y a fines del invierno en las regiones más cálidas, y en los lugares de clima tropical caliente se cultiva durante los meses más frescos del año. En algunas tierras altas subtropicales, las temperaturas benignas y la elevada radiación solar permite a los agricultores cultivar la papa todo el año, y cosechar los tubérculos a los 90 días de haberlos sembrado (en climas más fríos, como en el norte de Europa, pueden ser necesarios hasta 150 días) (FAO, 2008).

## **2.2 LA PAPA EN EL PERÚ**

Según Instituto Nacional de Estadística (2009), la papa es uno de los principales cultivos del país, dada su importancia económica y social; los productores agropecuarios se dedican a la producción de papa, generando cada año aproximadamente 110.000 puestos de trabajo permanentes, y es la base de la alimentación de la población alto andina. Durante la campaña agrícola 2008, el área instalada con papa representó 14% del total de siembras (278.371 ha en papa de 1.987.188 ha sembradas en total). Entre los años 1961 y 2002, la producción de papa se incrementó en 265%, pasando de 1.2 a 3.5 millones de toneladas, con una tasa de crecimiento promedio anual de 2.3%. El sostenido incremento de los rendimientos, que variaron de 5.3 a 12.89 toneladas por hectárea, explicaría la mayor producción obtenida. Se trata de un cultivo que aportó el 11.28% al Producto Interno Bruto (PIB) agrícola en 2006 y en promedio, 11.04% para el periodo 2001-2006. Involucró cerca de 600,000 productores, de los cuales 55% cultivan menos de 3 has, y generó veintisiete millones de jornales en una superficie de 278.371 ha. La Sierra concentra el 68% de la superficie cosechada y el 87% de la producción nacional y dos regiones, Huanuco y Junín, representan juntas 20% y 23% del área y de la producción, respectivamente (Devaux *et al.*, 2010)

Los rendimientos dependen del nivel de tecnología usada, principalmente el empleo de semilla certificada, variedades mejoradas, fertilizantes, nivel de mecanización, adecuadas prácticas agronómicas, riego tecnificado, ocurrencia de factores abióticos y el control efectivo de plagas y enfermedades.

## **2.3 IMPORTANCIA DE LA SEMILLA DE PAPA**

La semilla es el principal insumo para desarrollar buenos cultivos. En el caso de papa, el uso de semilla de buena calidad es importante, ya que se emplea para la propagación vegetativa (por medio de sus tubérculos). Una semilla que no esté en condiciones sanitarias, físicas y fisiológicas adecuadas, producirá emergencia no uniforme, un pobre desarrollo de plantas con bajos rendimientos, corriendo además el riesgo de diseminar, involuntariamente, plagas y enfermedades, que se transmiten a través de la semilla de mala calidad (Montesdeoca, 2005).

De acuerdo con Salas (1995), la papa se puede propagar vegetativamente, asegurando la conservación de características varietales durante generaciones sucesivas. Esto es ventajoso en un programa de mejoramiento genético, pero tiene como desventaja que el tubérculo-semilla favorece la diseminación de enfermedades sistémicas si no se tiene en cuenta el control de calidad en un programa de producción.

Por consiguiente, en un programa de producción de tubérculos-semillas, se necesitan técnicas de micro-propagación *in vitro* para producir una gran cantidad de plántulas genéticamente idénticas, partiendo del cultivo de meristemos o yemas. Estos procesos facilitan la obtención de plantas madres que pueden dar origen a otras libres de patógenos. Mediante las técnicas de multiplicación rápida en los invernaderos se busca incrementar los volúmenes de tubérculos-semillas, permitiendo al agricultor el uso de material de alta calidad genética, fisiológica y sanitaria. Así se garantiza el verdadero potencial de las variedades comerciales y los clones avanzados de los programas de mejoramiento genético (Salas, 1995).

## **2.4 EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE SEMILLAS**

Según Hidalgo (1989), en las últimas décadas la producción de semilla de papa en Latinoamérica ha experimentado notables avances gracias al desarrollo de los métodos de multiplicación rápida utilizando secciones de tallo enraizados o plántulas *in-vitro* multiplicadas masivamente y a las técnicas de eliminación de patógenos por medio del cultivo de meristemos y termoterapia. Menciona además, que se desarrollaron métodos serológicos y de hibridación de ácidos nucleicos para la detección de patógenos, especialmente de los virus y viroides que por su presencia sistémica en la planta se difunden fácilmente por la multiplicación vegetativa. Esta tecnología generada y difundida por el Centro Internacional de la Papa (CIP) desplazó rápidamente los métodos tradicionales de multiplicación clonal disminuyendo tiempo y costos para la obtención del material básico, élite, inicial o fundamental como se denomina a los tubérculos-semilla que los centros o estaciones experimentales entregan a los multiplicadores de semilla.

Para Chuquillanqui *et al.* (2007), la producción de semilla pre-básica de papa debe partir necesariamente de material de alta calidad (*in vitro* o tuberculillos libre de

enfermedades) y ser producida en invernadero. Esta producción en invernadero es generalmente realizada usando un sustrato de origen vegetal (básicamente musgo y suelo) lo cual involucra el riesgo de infección por diferentes patógenos presentes en el sustrato, tales como *Rhizoctonia solani* (chupadera), *Spongospora subterranea* (Roña), *Erwinia spp.* (Putridión blanda), *Phyitium spp.*, y otros. Además, otra de las desventajas de la producción de semilla pre-básica en suelo es generalmente la baja tasa de multiplicación.

Aunque se han hecho avances en cuanto a multiplicación rápida de material pre-básico en invernaderos, Hidalgo *et al.* (1999) menciona que la tasa de producción por planta es aún baja, lo que también incide en los costos finales de producción de la semilla. Adicionalmente Otazú y Chuquillanquí (2007), resaltan que con la prohibición del uso del bromuro de metilo, los costos de producción de semilla pre-básica de papa aún serán mayores, pues se ha determinado que el uso de vapor producido en calderos como método alternativo, tiene costos significativamente mayor, debido a que estos son accionados con petróleo para esterilizar los sustratos.

## **2.5 LA TÉCNICA HIDROPÓNICA EN LA PRODUCCIÓN**

Una alternativa presentada por diversos investigadores es el uso de la tecnología del cultivo sin suelo para la producción de semillas de papa. Muchas de estas técnicas se han empleado en varios países para la sustitución de los sistemas convencionales que han sido poco eficientes (Wheeler *et al.*, 1990; Wan *et al.*, 1994; Muro *et al.*, 1997; Ranalli, 1997; Chang *et al.*, 2000; Ritter *et al.*, 2001)

La hidroponía es una técnica que no requiere sustratos debido a que es un sistema en que las plantas crecen en una solución de agua y nutrientes. De esta forma se elimina la necesidad del uso de sustratos y los problemas asociados a ellos: heterogeneidad, disponibilidad, desinfección, extracción de materiales base y eliminación de desechos. (Morgan, 1998; Resh, 2001; Rodríguez *et al.*, 2004).

La hidroponía como técnica de producción presenta ventajas sobre el uso de sustratos, ya que permite cultivos en zonas donde los suelos no lo permiten, ya sea por estar infectados con enfermedades o por estar agotados, permitiendo eliminar la rotación de

cultivos o la interrupción de la producción. También se considera una ventaja la utilización de una menor área de cultivo, ya que permite tener una mayor densidad por unidad de superficie de plantas (Jensen, 2001).

La utilización de técnicas de propagación e indexación de plantas vinculadas a procedimientos más eficientes para la obtención de semilla de papa bajo métodos hidropónicos han tenido impactos positivos en el aumento de la oferta y la mejora y calidad del producto final (Pereira y Daniels, 2003).

Rolot y Seutin (1999), experimentando con un sistema NFT (*Nutrient Film Technique*) mencionan como ventajas en la producción hidropónica de semilla de papa en relación con las técnicas que usan sustratos: a) economía del 60% de material originado en cultivo de tejidos; b) un significativo aumento en el número de mini-tubérculos por unidad de área; c) mini-tubérculos de calidad sanitaria excelente; d) obtención de cantidades satisfactorias de mini-tubérculos de tamaño adecuado.

Sin embargo para Otazú y Chuquillanquí (2007), algunos métodos hidropónicos presentan desventajas importantes relacionadas a espacios limitados para el desarrollo radicular de las plantas, susceptibilidad a una contaminación masiva con patógenos que ingresen a la solución nutritiva y limitada aireación de los tuberculillos producidos. También Wheeler *et al* (1990) reportaron daños en tuberculillos de papa por la alta concentración de sales en su superficie en sistemas basados en técnicas NFT.

Con el fin de superar estos inconvenientes muchos investigadores han explorado en la técnica de aeroponía como un método alternativo del cultivo sin suelo para la producción de semilla de papa bajo ambientes controlados de invernadero (Farran y Mingo-Castel, 2006).

## **2.6 USO DE LA TÉCNICA AEROPÓNICA EN LA PRODUCCIÓN**

La aeroponía es un sistema hidropónico donde el sistema radicular de las plantas se encuentra creciendo y desarrollando en un ambiente oscuro sin sustrato, y que continuamente es saturado con micro gotas de solución nutritiva (Christie y Nichols, 2004).

El cultivo bajo la técnica aeropónica es una alternativa de los métodos de cultivo sin suelo en ambientes de agricultura protegida. Esta técnica optimiza la aireación de las raíces, que es un factor importante para la producción de cultivos bajo la técnica hidropónica (Soffer y Burger, 1988).

En el sistema aeropónico el problema de aireación es superado en comparación de otras técnicas de hidroponía; al no existir problema para el desarrollo de raíces de las plantas, se promueve un mejor crecimiento radicular y de estolones, facilitando la absorción de nutrientes y contribuyendo a un aumento en el número de tubérculos por planta (Factor y Araujo, 2005).

Farran y Mingo-Castel (2006), evaluaron bajo condiciones experimentales de invernadero y con equipos sofisticados, el efecto de la densidad de plantación y los intervalos de cosecha en plantas. Encontraron que las plantas de papa cv Zorba mostraron un extenso periodo vegetativo, obteniéndose un gran número de estolones a baja densidad de plantas. También encontraron que la formación de tubérculos se aceleró cuando se redujo la aplicación de N, así como los mejores resultados en cosecha cuando se hizo con intervalos semanales.

En este sentido Loomen (1995), dio su punto de vista favorable a la posibilidad de hacer cosechas repetidas en el tiempo, considerando un sistema aeropónico y la combinación de estas técnicas de manejo para la producción final de mini-tubérculos de papa.

Por otro lado, trabajando en producción de semillas de papa, Relloso *et al.* (2000), estudiaron la obtención del mini-tubérculos de papa cv Nagore en un sistema convencional, sistema hidropónico y sistema aeropónico. Según estos autores el rendimiento medio fue más alto para el sistema aeropónico; la mayor productividad estuvo asociada al mayor número de colectas realizadas en el tiempo, evitando así tubérculos demasiados grandes.

Nichols (2005), considera que parte de la competitividad de un cultivo de papa en campo, depende del uso de semilla de alta calidad sanitaria y que ésta provenga de un sistema que haya usado pocas multiplicaciones previas en campo. Es en este sentido, el autor resalta que la multiplicación en sistemas aeropónicos puede ayudar a disminuir las

necesidades de multiplicación en campo, disminuir los costos de producción asociados al cultivo y aumentar la calidad fitosanitaria final. En su trabajo, se menciona que se alcanzaron hasta 37.34 mini-tubérculos por planta, con peso promedio de 2.45 g en el sistema aeropónico instalado en la Universidad de Massey en Nueva Zelanda.

Los sistemas basados en aeroponía presentan ventajas adicionales al tema productivo, pues al ser un sistema cerrado, no hay pérdida de agua ni de nutrientes y permite también un buen monitoreo de la sanidad del cultivo a nivel radicular. La desventaja de la aeroponía está en el costo de implementación que presenta, ya que es una técnica de elaboración totalmente mecánica; existe una alta susceptibilidad a un mal funcionamiento, ya que se requiere de una regulación precisa y de un constante control de los niveles de agua y nutrientes. Además, se puede producir la obturación de las boquillas o alguna avería y las plantas pueden ser dañadas rápidamente en forma irreparable. Para evitar este tipo de problemas es necesario contar con sistema de filtraje de la solución y un monitoreo constante del sistema (Durán *et al.* 2000; Jensen, 2001).

Otazú y Chuquillanquí (2007), plantearon un diseño de sistema aeropónico adaptado en el Centro Internacional de la Papa (CIP) para la producción de semillas pre-básicas de bajo costo. En su trabajo probaron el sistema adaptado en 3 cultivares peruanos usando materiales y equipos simples con el fin de solucionar los problemas de esterilización de sustratos y poder bajar costos en la producción. Los resultados fueron muy prometedores en condiciones de Sierra Central en el Perú; de 5 a 10 veces más de número promedio de tuberculillos por planta de los cultivares Canchan, Perricholi y Yungay cuando fue comparado con el sistema convencional de macetas. En esta investigación los autores señalan como resultado particular el crecimiento excesivo del follaje y del sistema radicular, así como la prolongación inusual del periodo vegetativo de cada cultivar evaluado.

## **2.7 FACTORES DEL AMBIENTE QUE AFECTAN EL DESARROLLO Y RENDIMIENTO EN EL CULTIVO DE PAPA**

De acuerdo con Midmore y Rhoades, mencionados por Kooman (1995), el cultivo de papa es llevado a cabo en muchos climas del mundo a excepción de las zonas bajas de la

franja tropical. En zonas tropicales y subtropicales los rendimientos son más bajos y menos estables que en zona templada. Para estos autores, la razón está principalmente en que en estos climas, la presión de plagas y enfermedades es alta y los cultivos se ven afectados por deficiencias nutricionales y disponibilidad de agua. Aunque estas condiciones fueran totalmente controladas, los rendimientos serían aun bajos; la razón está en que el potencial de producción de materia seca está gobernada por factores genéticos y de clima como la radiación, temperatura y duración del día.

Para Wellensiek (1967), el desarrollo y crecimiento de la planta depende primero del factor genético y segundo del ambiente que incluye en su sentido amplio los componentes suelo y clima. Ewing (1997), sostiene que la papa se considera una especie vegetal de estación fría, con moderada tolerancia a heladas, obteniéndose los mejores rendimientos entre 15 a 20 C, mientras las altas temperaturas según Midmore (1992), retrasan el proceso de tuberización.

Temperaturas por encima o debajo de los rangos óptimos de temperatura, afectan la producción de materia seca de los tubérculos. Los días cortos normalmente acortan el ciclo de crecimiento del cultivo y también el rendimiento final de tubérculos (Haverkort, 1990). Esta sensibilidad a la amplitud del día depende en buena medida del tipo de cultivar empleado (Menzel, 1985).

Para Kooman (1995), un incremento en la irradiancia normalmente estaría relacionado con un incremento en el rendimiento final, pero altos niveles de irradiación están asociados también con altas temperaturas y altos déficits de presión de vapor, ocasionando bajos rendimientos.

El índice de cosecha (IC) determina la relación en distribución de materia seca en la planta completa y los órganos de importancia económica. La planta de papa puede producir grandes cantidades de materia seca y una pequeña parte de esta es alojada en las partes que no son cosechadas (parte aérea, raíz y estolones); su índice de cosecha puede ser cercano al 80% y es alto comparado con otros cultivos como los cereales (50%) y cultivos de semillas oleaginosas (35%), pero puede estar influenciado por el ambiente. Sin embargo Monteith (1969) confirmó en su trabajo de experimentación la importancia de la parte aérea en los

cultivos, pues existe una relación lineal entre la radiación interceptada por el follaje y la producción final de materia seca.

El fotoperiodo es reconocido como un factor importante que incide sobre el tiempo en la iniciación de la tuberización en papa y el número de tubérculos formados finalmente. La literatura indica que el proceso de inducción ocurre de manera temprana en días cortos, más que en días largos (Bodlaender, 1963; Ewing, 1990; Ewing y Struik, 1992). Los efectos han podido ser medidos en diversos experimentos bajo ambientes controlados especialmente en cultivo de tejidos. Los resultados de campo son en general pocos y no están bien documentados debido a 3 causas: a) la cantidad y/o calidad de radiación incidente, b) hay un amplio rango de sensibilidad al fotoperiodo entre cultivares, c) el momento de la inducción no se evalúa con exactitud en campo (Brien *et al.*, 1998).

El efecto de la irradiancia sobre el tiempo de inicio de la tuberización en papa no ha sido satisfactoriamente establecido. Menzel (1985), mostró que el efecto de este factor sobre la tuberización estaba influenciado por la temperatura en un rango de 20 a 28 °C. A temperaturas más bajas una cantidad máxima de tubérculos se produjeron, incluso con rangos bajos de irradiancia, pero la combinación de alta temperatura con baja irradiancia inhibió la tuberización.

Por otro lado Ewing (1997), menciona que el rendimiento final es función de la producción de biomasa total, el porcentaje de la biomasa que es translocada a los tubérculos, el contenido de humedad de los tubérculos y la proporción de los tubérculos que son usables para el mercado en términos de tamaño y sanidad. Menciona que una alta producción de biomasa es posible solo si la porción destinada a los tubérculos también es alta. Para Allen y Scott (1980), la cantidad de materia seca acumulada en los tubérculos es directamente proporcional al total de la cantidad de radiación interceptada por el cultivo, mientras el agua y los nutrientes no sean factores limitantes de la producción.

En condiciones controladas Van Dam *et al.* (1996), analizaron el efecto conjunto de la temperatura y el fotoperiodo en el crecimiento, partición de materia seca y producción de tubérculos de los cultivares Desiree y Spunta. Encontraron que altas temperaturas y fotoperiodos largos, retrasaron el inicio de tuberización y la tasa de llenado de los mismos; altas temperaturas también ocasionaron bajas tasas de crecimiento de tubérculos y el

fotoperiodo solo, no afectó la tasa absoluta de crecimiento de tubérculos a bajas temperaturas. De igual manera, el estudio muestra como altas temperaturas y largos fotoperiodos afectaron también la tasa de partición de materia seca hacia los tubérculos.

Tadesse *et al* (2001), evaluaron el efecto de la temperatura sobre las 3 fases involucradas en la producción de semilla pre-básica de papa, encontrando que en la transición de la fase *in vitro* a *ex vitro*, la temperatura alta estimula el crecimiento vegetativo y retrasa la formación de tubérculos, afecta el rendimiento final, el índice de cosecha y la concentración de materia seca en tubérculos. Mencionan que la temperatura durante la formación de tubérculos es más importante para lograr buenos rendimientos durante las fases tempranas.

En cuanto a los aspectos fenológicos del cultivo, en campo, muchas veces se habla de la “sincronización” del evento de la floración y la tuberización. Almekinders y Struik (1996), mencionan que esto supone que las señales para el inicio de la floración y la tuberización son similares. Sin embargo plantas que inician la floración no necesariamente inician la tuberización; se observaron inflorescencias sobre plantas bajo días largos y cortos, pero las plantas bajo días largos no formaron tubérculos. Incluso plantas de *Solanum tuberosum* ssp. *andigena* inicio primordios florales y abundantes estolones, pero no tuberizaron bajo días largos y temperaturas moderadas (Ewing y Struik, 1992).

Las observaciones citadas indican que estos dos eventos no están relacionados, pues la tuberización está limitada por la temperatura y el fotoperiodo, mientras la floración ocurre bajo un amplio rango de condiciones. Sin embargo el rango de fotoperiodo bajo el cual ocurre la tuberización, probablemente sea mucho más amplio de lo que generalmente es asumido (Levy y Kedar, 1985).

## **2.8 LA INTERACCIÓN GENOTIPO – AMBIENTE (G x A)**

En lo que respecta a la comparación de material vegetal en un conjunto de múltiples ensayos de rendimiento (o para otra variable agronómica), el término genotipo se refiere a un cultivar y el término medio ambiente se refiere al conjunto de clima, suelo, condiciones bióticas (plagas y enfermedades) en un lugar determinado. Un medio ambiente identifica

un lugar determinado-año (anuales) o la ubicación de cultivos de ciclo (perennes) o su combinación en el análisis de los ensayos repetidos en el tiempo (FAO, 2002).

La respuesta diferencial de los genotipos a las condiciones ambientales origina lo que se conoce como la interacción genotipo x ambiente (G x A), que puede limitar la precisión en la estimación del rendimiento y dificulta la identificación de genotipos aptos para algunos ambientes específicos (Crossa *et al.*, 1990). Este fenómeno de la interacción, esta representado por todos los factores externos del medio ambiente que afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas e influyen en la expresión genotípica favorable o desfavorable, dando lugar a la respuesta final denominada fenotipo (Lescay, 2003).

Para Yan y Hunt (2001), la comprensión e identificación de las causas de una interacción genotipo x ambiente (G x A) puede ayudar a identificar los factores que contribuyen a un mejor rendimiento o desempeño de un cultivar determinado en un medio ambiente dado y puede ser usado para identificar condiciones ideales y/o formular recomendaciones de manejo de cultivo. Cuando un genotipo es evaluado en distintas condiciones de ambiente, puede presentar dos tipos de adaptación: general o específica; un cultivar tiene adaptación general cuando muestra tener mejor comportamiento relativo en la mayoría de los ambientes donde es evaluado. Por el contrario, un cultivar presenta adaptación específica cuando muestra tener mejor comportamiento relativo en un determinado ambiente donde fue evaluado, por lo que sería recomendable, explotarlo en dicho ambiente (Aguiluz, 1998; Chávez, 1993).

Cuando se evalúan un alto número de genotipos y ambientes (a nivel regional ó continental), las técnicas multivariantes y de ordenación pueden ser utilizadas para establecer la naturaleza de la interacción, al poner de manifiesto las asociaciones existentes entre genotipos y ambientes y por la caracterización que realizan de los ambientes (Thomson y Cunningham, 1979).

Son muchos los investigadores que han estudiado la interacción de genotipo - ambiente en el cultivo de la papa y los métodos estadísticos de análisis de los parámetros de estabilidad, como son los métodos de Ecovalencia, Finlay y Wilkinson, Everhart y Russell y de Tai, entre otros citados por Gonzales *et al.*, 2003. Estos modelos asumen a su vez, una fuerte relación lineal entre la interacción genotipo por ambiente (G x A) y el

efecto ambiental, y hacen uso de un índice ambiental no independiente de los genotipos (Bonierbale *et al.*, 2004).

Recientemente se ha propuesto una alternativa adicional para el estudio de la interacción G x A, como es el “Análisis de los efectos principales y las interacciones multiplicativas”, denominado AMMI (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Analysis), propuesto por Zóbel *et al.* (1988). Gauch (1992), en su libro “*Statistical Analysis of Regional Yield Trials: AMMI analysis of factorial designs*”, explica la metodología y la define como una combinación del análisis de variancia ordinario (ANVA) con el análisis de componentes principales (ACP), donde el ACP es usado en la descomposición de la interacción G x A en componentes multiplicativos, usando para ellos los datos doblemente centrados, es decir la matriz de interacciones. Este mismo autor pone de manifiesto que fueron los investigadores Williams, Pike y Silverberg quienes lo implementaron por primera vez en el año de 1952. Cubero y Flores (1994), enumeran una serie de ventajas del modelo AMMI respecto a los demás métodos de estudio: se trata de un método potente de diagnóstico, ya que permite la posibilidad de estudiar submodelos representativos de los datos totales del ensayo, aporta gran información sobre la naturaleza de la interacción, permitiendo clasificar tanto los genotipos como los ambientes según sus patrones de comportamiento y se obtiene la misma precisión en la estimación del rendimiento que con otros tipos de análisis con un número de repeticiones 2 a 5 veces mayor.

Gauch y Zóbel (1996), reportan que el modelo AMMI es útil para entender la compleja interacción genotipo por ambiente, ganando precisión, mejorando el proceso de selección e incrementando la eficiencia experimental. El modelo AMMI es rutinariamente un análisis de primera elección cuando el efecto principal y de interacción son importantes, situación mayoritariamente común para los estudios del rendimiento. Zóbel *et al.* (1988), compararon 3 modelos tradicionales (ANVA, ACP y Regresión Lineal) con el modelo AMMI, con base al rendimiento de 7 cultivares de soya crecidos en 35 ambientes de Estados Unidos. Los resultados obtenidos muestran que el análisis de varianza (ANVA) fue incapaz de detectar efectos de interacción significativos. El análisis de componente principal (ACP) fue incapaz de identificar y separar los efectos principales de genotipo y ambiente. Por su parte, el análisis de regresión lineal (RL) da cuenta sólo de una pequeña porción de la suma de cuadrados (SC) de la interacción. Finalmente, el autor señala que el análisis AMMI reveló la existencia de un alto y significativo efecto de interacción con

claras implicancias agronómicas. El autor mencionó que dado que los análisis de ANVA, APC y RL son parte del complejo modelo AMMI, este sería mucho más apropiado para estudiar el rendimiento de cultivos, y a través de este, detectar mejor la interacción del genotipo con el ambiente.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO**

El experimento se llevó a cabo bajo invernaderos, ubicados en las estaciones experimentales del Centro Internacional de la Papa en dos localidades del Perú: estación La Molina en Lima (244 msnm, latitud 12° 4'34" S; longitud 76° 56'46" O) y, estación Santa Ana en Huancayo (3.259 msnm; latitud 12° 0'38 " ; longitud 75° 13'23" O).

#### **3.2 CARÁCTERÍSTICAS DE LOS INVERNADEROS**

La investigación fue conducida bajo invernaderos no climatizados, generalmente utilizados para la producción de semilla de papa. Los invernaderos tenían orientación Este – Oeste, construidos con materiales básicos de madera, cemento, malla anti áfidos y techo de policarbonato. El invernadero empleado en La Molina (Fotografía 1A), fue tipo capilla, con dimensiones de 12 m de ancho, 30 m de largo y 8 m de alto. El invernadero empleado en Santa Ana (Fotografía 1B), también fue tipo capilla, con dimensiones de 5 m de ancho, 16 m de largo y 4 m de alto. Cada invernadero contó con mallas de polipropileno (tipo sarán) al 40% y removibles, para mitigar el efecto de las altas temperaturas de verano y la alta luminosidad.



**Fotografía 1. Vista de los invernaderos utilizados para la producción de semilla prebásica. A) invernadero de CIP Lima (244 msnm); B) invernadero de CIP Huancayo (3.259 msnm).**

### 3.3 AMBIENTES DE ESTUDIO

Los ambientes de estudio resultaron de la combinación de diferentes campañas en cada localidad. Se llevaron a cabo 3 campañas en la estación La Molina y 2 campañas en la estación Santa Ana. El cuadro 1 muestra los lugares de cada ambiente, así como su identificación y la descripción de la época en los cuales se desarrollaron.

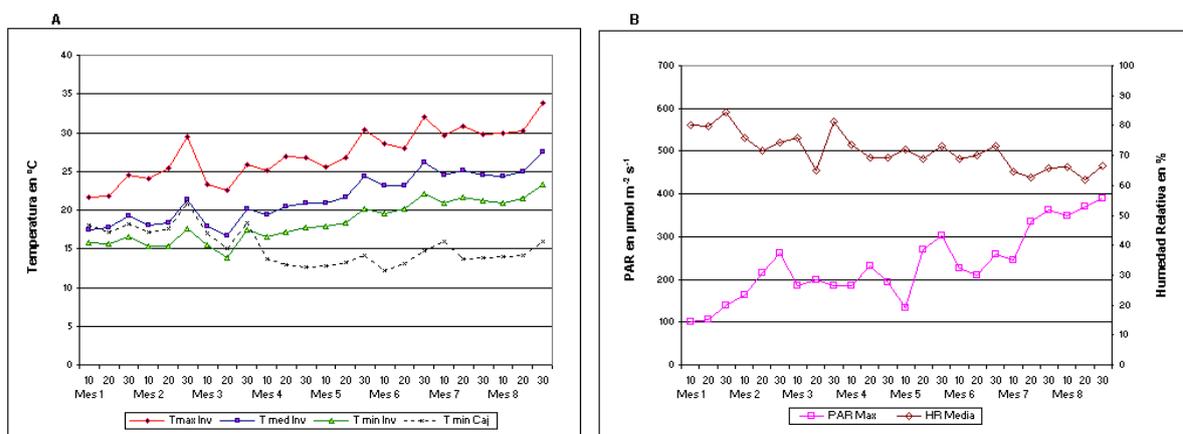
<b>Cuadro 1. Ambientes de estudio</b>			
<b>Ambiente</b>	<b>Lugar</b>	<b>Identificación</b>	<b>Descripción</b>
1	LA MOLINA	LM1	Invierno-Verano
2	LA MOLINA	LM2	Primavera-Invierno
3	LA MOLINA	LM3	Otoño-Verano
4	HUANCAYO	HY1	Periodo Lluvioso
5	HUANCAYO	HY2	Periodo Seco

#### 3.3.1 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE LOS AMBIENTES

En el anexo 1 se pueden apreciar los registros de las variables climáticas para los diferentes ambientes de estudio. Se presentan los promedios con un intervalo de diez días de la temperatura máxima, media y mínima para invernadero y contenedor de cultivo, así como el promedio máximo diario de la radiación fotosintéticamente activa – PAR y la humedad relativa promedia dentro del invernadero.

### 3.3.1.1 Ambiente La Molina 1 (LM1)

La Figura 1 resume algunas de las características climáticas más relevantes dentro de invernadero para el ambiente de estudio LM1; este ambiente se caracterizó por ser una siembra de mediados de invierno (Agosto de 2008) con un ciclo vegetativo que se extendió hasta finales de verano en la estación de CIP Lima.



**Figura 1. Características climáticas dentro del invernadero en el ambiente de Costa LM1: A) temperatura máxima, media y mínima promedio en invernadero y mínima en el contenedor de cultivo, B) radiación fotosintéticamente activa – PAR máxima diaria y humedad relativa promedio en invernadero.**

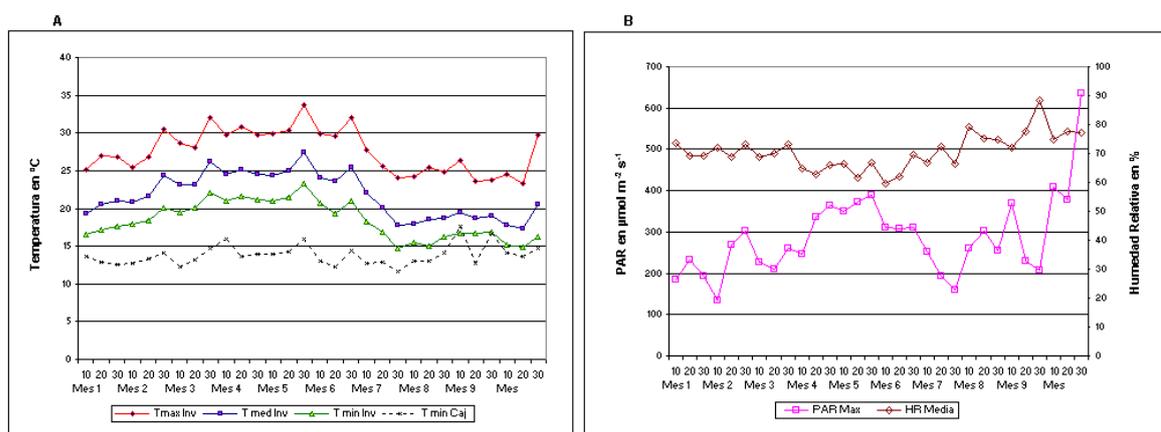
Se puede apreciar como los promedios de temperatura fueron incrementándose a medida que se desarrollaba el ciclo del cultivo (Figura 1A); se resalta un incremento de temperatura para en el mes 2 (Septiembre de 2008), aproximadamente a los 60 días de haberse realizado el trasplante final. En términos generales se puede decir que el ciclo comenzó con una temperatura media de 17.7° C y terminó con una media superior de 27.4° C. En la misma figura se puede apreciar el comportamiento de la temperatura mínima dentro del contenedor; hasta el mes 3 (Octubre de 2009), se mantuvo por encima de los 15° C, pero la instalación del equipo de frío ocasionó una reducción, manteniendo promedios fluctuantes entre los 13.1 y 15.9° C.

En la Figura 1B se puede ver como el promedio de PAR máxima diaria, fue elevándose desde 100.7  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , hasta llegar a 390  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  en la época de verano debido a la menor nubosidad en el área circundante. El caso contrario ocurrió con la variable humedad relativa del invernadero; el promedio fue más alto al inicio del ciclo

debido a las condiciones de invierno y fue registrando una reducción en la estación de verano (80 % a 66.6 %).

### 3.3.1.2 Ambiente La Molina 2 (LM2)

El ambiente de estudio de LM2 se caracterizó por ser una siembra de mediados de primavera (Noviembre de 2008), con ciclo un vegetativo que se extendió principalmente a lo largo del verano, terminando a finales de la estación de invierno en la estación de CIP Lima. En la Figura 2 se resumen algunas de las características climáticas más resaltantes del ambiente.



**Figura 2. Características climáticas dentro del invernadero en el ambiente de Costa LM2: A) temperatura máxima, media y mínima promedio en invernadero y mínima en el contenedor de cultivo, B) radiación fotosintéticamente activa – PAR máxima diaria y humedad relativa promedio en invernadero.**

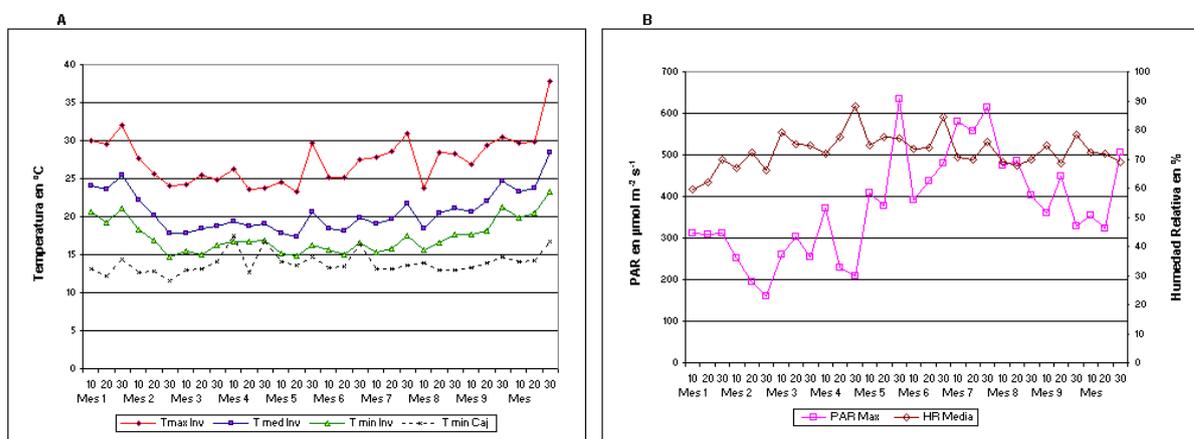
La Figura 2A presenta el comportamiento de la temperatura para el invernadero y contenedores de cultivo. Se puede apreciar el incremento de las temperaturas tanto mínimas, medias y máximas de invernadero a partir del mes 1, hasta el mes 5 (Noviembre de 2008 a Marzo de 2009), punto desde el cual empieza a presentarse una reducción en el promedio debido al cambio de estación climática; los estados iniciales del cultivo se dieron en las condiciones cálidas de la estación de verano con promedios de temperaturas entre los 20 y 27° C. La máxima temperatura alcanzada dentro de invernadero se situó en el mes 5 (Marzo de 2009) de desarrollo, con un promedio de 33.7° C y la mínima con 14.7° C en el mes 7 (Mayo de 2009). La temperatura mínima en el contenedor de cultivo se

mantuvo entre los 13.1 y 17.5° C, debido al funcionamiento del equipo de frío para la solución nutritiva.

La Figura 2B presenta la curva del promedio de PAR máximo diaria el cual fue experimentando un incremento de  $184 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  desde el mes 1 (Noviembre de 2008), hasta  $390.3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , en el mes 5 (Marzo de 2009), para luego descender debido a la llegada de la estación fría que estuvo acompañada de nubosidad en el área de estudio. En las etapas finales del ciclo de cultivo a partir del mes 8 hasta al 10 (Junio a Agosto de 2009) hay un incremento del promedio del PAR máximo diario, debido a la salida de la estación de invierno. En cuanto a la humedad relativa, en la misma figura, es posible observar que en los primeros meses de ciclo de cultivo, se mantuvo por debajo de 80%, registrando un leve incremento en la estación de invierno a partir del mes 6 hasta el mes 9 (Abril a Julio de 2009) de desarrollo del cultivo, con valores promedio de hasta 88.3 %.

### 3.3.1.3 Ambiente La Molina 3 (LM3)

El ambiente de estudio LM3 se caracterizó por ser una siembra de inicio de otoño (Abril de 2009), con un ciclo vegetativo que se extendió a lo largo del invierno y duró hasta mediados de la estación de verano (Enero de 2010) en la estación de CIP Lima. La Figura 3 resume algunas de las características climáticas más relevantes de este ambiente.



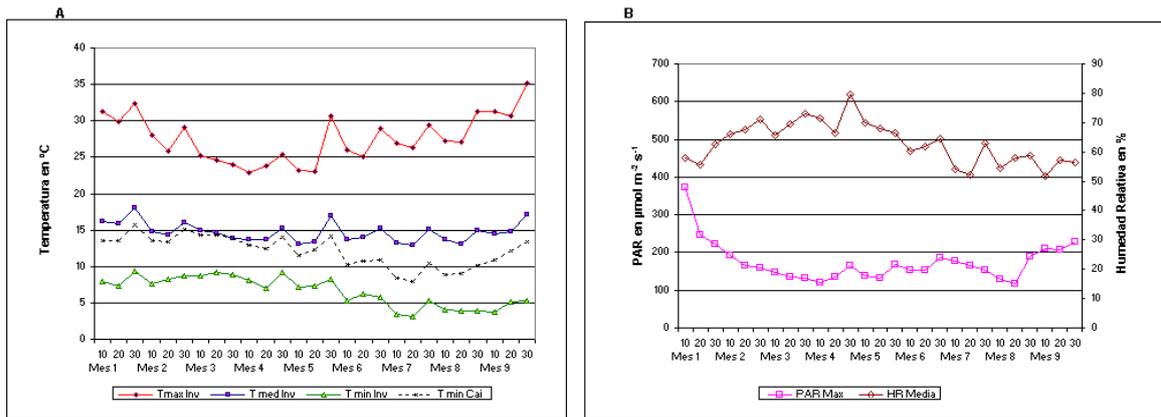
**Figura 3. Características climáticas dentro del invernadero en el ambiente de Costa LM3; A) temperatura máxima, media y mínima promedio en invernadero y mínima en el contenedor de cultivo, B) radiación fotosintéticamente activa – PAR máxima diaria y humedad relativa promedio en invernadero.**

Contrario a lo ocurrido en cuanto a las condiciones climáticas del ambiente anterior, el cultivo experimentó en los meses iniciales una reducción gradual de la temperatura (Figura 3A). Durante los primeros 5 meses (hasta Agosto de 2009) de desarrollo del cultivo, la temperatura media fue descendiendo de 23.5 a 17.7° C, para luego incrementarse a lo largo de los meses por el cambio de la estación climática, alcanzando un promedio de temperatura de 28.5° C al final del ciclo. Las temperaturas máximas alcanzadas en el invernadero se situaron solo al inicio y final del periodo con 32° C y 37.8° C respectivamente; la temperatura mínima de invernadero fue de 14.9° C en el mes 5 (Agosto de 2009). La temperatura mínima del contenedor de cultivo estuvo entre los 11.4 y 17.5° C, debido al funcionamiento del equipo de frío para la solución nutritiva.

La Figura 3B presenta la curva del promedio de PAR máxima diaria, la cual presenta su valor más bajo en el mes 2 con  $160 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , punto desde el cual se registra un incremento gradual hasta alcanzar un máximo en el mes 5 con  $635.3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . De los ambientes de costa, éste presentó registros máximos diarios de PAR por encima de  $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  en al menos 6 meses de ciclo de cultivo. La misma figura presenta la humedad relativa promedio, la cual desde el mes 1 se incrementa hasta alcanzar valores de 88.3 % en la estación de invierno, para posteriormente caer en sus registros promedio hasta 68.9 % en la estación de verano.

#### **3.3.1.4 Ambiente Huancayo 1 (HY1)**

El ambiente HY1 se caracterizó por ser el ambiente óptimo para cultivar en condiciones de Sierra, que tuvo su inicio en Diciembre de 2008 y se extendió hasta el mes de Agosto de 2009 en la estación Santa Ana de la ciudad de Huancayo. La Figura 4 resume algunas de las características climáticas más relevantes de este ambiente.



**Figura 4. Características climáticas dentro del invernadero en el ambiente de Sierra HY1: A) temperatura máxima, media y mínima promedio en invernadero y mínima en el contenedor de cultivo, B) radiación fotosintéticamente activa – PAR máxima diaria y humedad relativa promedio en invernadero.**

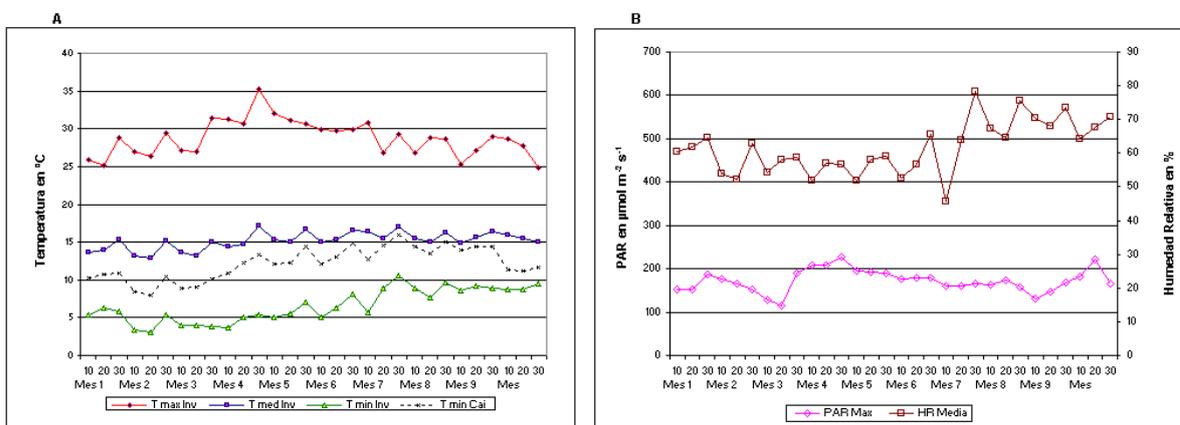
La Figura 4A presenta el comportamiento de la temperatura para el invernadero y el contenedor de cultivo. La temperatura promedio dentro del invernadero fue de 15° C. La temperatura máxima promedio estuvo por debajo de los 30° C, a excepción del primer y último mes (Diciembre de 2008 y Agosto de 2009), en los cuales se registraron temperaturas de 31.3 y 35.2° C respectivamente. La temperatura mínima en este ambiente se mantuvo entre los 9.1 y 5.3° C en los 6 primeros (Diciembre de 2008 a Mayo de 2009) meses, pero a partir del mes 7 (Junio de 2009) se registraron mínimas por debajo de los 5° C llegando incluso a alcanzar los 3° C dentro del invernadero y coincidiendo con las heladas en la zona de estudio ocurridas entre los meses de Junio y Julio. En cuanto a la temperatura mínima dentro del contenedor, ésta alcanzó su valor más bajo de 7.9° C en el mes 7 (Junio de 2009) de desarrollo del cultivo.

La radiación fotosintéticamente activa – PAR máxima diaria es presentada en la Figura 4B. Es notable el efecto de la instalación de la doble malla de sombra instalada a inicios del primer mes, con el fin de atenuar el efecto de las altas temperaturas dentro del invernadero originadas por la alta radiación incidente en la zona. Una reducción de 371 a 222  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  pudo ser registrada en el primer mes de cultivo por el quipo de medición; de manera gradual la curva muestra una reducción del PAR relacionado principalmente con los días poco soleados asociados a la estación lluviosa de la zona en los primeros meses de desarrollo del cultivo. El PAR promedio estuvo situado por debajo de 200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  en la mayoría de los meses de desarrollo del cultivo. En cuanto a la humedad relativa

promedio del invernadero se observa que al inicio y al final del ciclo de cultivo, estuvo entre 75.9 y 56.5 %; los mayores valores de humedad relativa se registraron en el mes de Abril con promedios que alcanzaron hasta 79.4 % bajo invernadero.

### 3.3.1.5 Ambiente Huancayo 2 (HY2)

El ambiente de estudio HY2 se caracterizó por ser el ambiente de sierra más extremo debido a la presencia de heladas en la zona, con inicio en Mayo de 2009 y un ciclo vegetativo que se extendió hasta el mes de Febrero de 2010 en la estación Santa Ana de la ciudad de Huancayo. La Figura 5 resume algunas de las características climáticas más relevantes.



**Figura 5. Características climáticas dentro del invernadero en el ambiente de Sierra HY2: A) temperatura máxima, media y mínima promedio en invernadero y mínima en el contenedor de cultivo, B) radiación fotosintéticamente activa – PAR máxima diaria y humedad relativa promedio en invernadero.**

El comportamiento de la temperatura dentro de invernadero y el contenedor de cultivo se presenta en la Figura 5A. Como se mencionó, este ambiente tuvo como característica que las primeras etapas de desarrollo del cultivo coincidió con la el periodo de temperaturas bajas en la zona de estudio; la temperatura mínima promedio se mantuvo por debajo de los 5° C desde inicios del mes 2 (Junio de 2009) hasta mediados del mes 4 (Agosto de 2009) de desarrollo. De igual manera este ambiente registró entre los meses 3 y 6 (Julio a Octubre de 2009), un promedio de temperaturas máximas por encima de 30° C. La temperatura media del invernadero estuvo fluctuando entre los 15° C, pero es de importante resaltar que la amplitud de temperatura (diferencia entre máxima y mínima) en

algunos periodos fue mayor que en el anterior ambiente de Sierra (HY1). También se resalta que la temperatura dentro del contenedor alcanzó en este ambiente sus valores más bajos; los valores promedios en el mes 2 desarrollo (Junio de 2009), alcanzaron registros de hasta 7.9° C.

La Figura 6B presenta la curva del promedio de PAR máxima diaria, en la cual se puede apreciar como la mayor parte del ciclo de desarrollo de cultivo estuvo marcado por tener registros por debajo de  $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  a excepción del mes 4 (Agosto de 2009) y mes 10 (Febrero de 2010) donde se presentaron registros de 226.8 y  $220.8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  respectivamente. El inicio del ciclo de desarrollo estuvo marcado por una caída en los valores de PAR promedio máximo diario, teniendo un valor bajo de  $116 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para el mes 3 (Julio de 2009). Con relación a la humedad relativa promedio se tuvo una variación del registro que osciló entre el 50 y 65 % hasta el mes 5 (Septiembre de 2009) y coincidente con los periodos secos de las heladas de Sierra; posteriormente se registró un incremento en la humedad, alcanzando más del 80% para el mes 7 de desarrollo del cultivo (Noviembre de 2009).

El cuadro 2 presenta un promedio general de las características climáticas de los 5 ambientes de estudio. Es posible apreciar que la temperatura máxima bajo invernadero, se mantuvo entre los 27 y 28° C para los ambientes de evaluación; respecto a la temperatura mínima de invernadero, esta fue menor en los dos ambientes de Huancayo (HY1 y HY2). La Humedad Relativa de los ambientes de Costa fueron mayores que los promedios alcanzados en los dos ambientes de Sierra. En los ambientes de Costa bajo invernadero, se tuvo valores promedio máximos de PAR superiores que los ambientes de Sierra; se presentaron valores desde  $377.36 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  en el ambiente LM3, hasta  $172.42 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  en HY2. Respecto a las temperaturas dentro de los contenedores de cultivo, estas fueron ligeramente más altas en los dos ambientes de Sierra si se comparan con los ambientes de Costa; las temperaturas promedio mínimas dentro de los contenedores, fueron más bajas en los ambientes de Sierra.

**Cuadro2. Promedio de las características climáticas de los 5 ambientes de estudio**

Variables Climáticas		LM1	LM2	LM3	HY1	HY2
Temperatura invernadero (°C)	MAX	27,21	27,64	27,48	27,57	28,75
	MIN	18,41	18,44	17,34	6,59	6,57
Humedad Relativa (%)	MED	71,41	70,65	72,77	63,08	61,53
PAR ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	MAX	234,28	288,29	377,36	174,17	172,42
Temperatura contenedor (°C)	MAX	19,70	19,39	19,78	20,23	20,57
	MIN	15,28	13,77	13,85	12,14	12,17

### 3.4 MATERIAL GENÉTICO

Los genotipos del estudio fueron dos clones avanzados de la Población Late Blight de resistencia horizontal a *Phytophthora infestans* (rancho), cuatro clones avanzados de la Población LTVR (adaptados a trópicos bajos y resistentes a virus), una variedad mejorada, dos variedades de uso comercial en África y, una variedad nativa del Perú. Estos genotipos son descritos a continuación en el cuadro 3.

**Cuadro 3. Principales características de los genotipos empleados en la investigación**

Nº	Cultivar	Descripción	Pedigree	Tubérculo	Adaptación	Periodo Vegetativo	Peso Genético
1	CIP 393371,58 Chucmarina	Población B3C1	387170.16 x 389746.2	Forma oval, ojos poco profundos, piel crema con ojos rosados, carne color blanco cremoso	Adaptada a trópicos altos	Medianamente tardío de 110 a 120 días	<i>andigena</i>
2	CIP 393077,54 Venturana	Población B3C1	387348.2 x 389746.2	De forma larga y oval, de ojos superficiales, piel crema y blanca, ojos rosados y carne color blanca	Adaptada a trópicos altos	Medianamente tardío de 110 a 120 días	<i>andigena</i>
3	CIP 395434,1	Población LTVR	C91.612 x N93.067	De forma oval, ojos superficiales, piel crema y blanca, carne color crema	Adaptada a trópicos intermedios	Semi precoz 100 a 120 días	<i>tuberosum</i>
4	CIP 397036,7	Población LTVR	LR93.160 x 92.187	De forma oval, ojos superficiales, piel crema y blanca, carne color crema	Adaptada a trópicos bajos	Precoz de 90 a 100 días	<i>andigena</i>
5	CIP 397077,16	Población LTVR	LR93.221 x C93.154	De forma larga y oval, con ojos superficiales, piel crema y blanca, carne color amarillo pálido	Adaptada a trópicos bajos, días largos y tolerante a sequía.	Precoz de 90 a 100 días	<i>tuberosum</i>

6	CIP 397073,16	Población LTVR	LR93.120 x C93.154	Alargado y oval, ojos superficiales, piel amarilla, carne color amarillo pálido	Adaptada a trópicos bajos y días largos	Precoz de 90 a 100 días.	<i>tuberosum</i>
7	CIP 391691,96 Serranita	Var Mejorada	381381.9 x LB-CUZ.1	De forma redonda, ojos superficiales, color de piel morado, color de pulpa blanco cremoso	Adaptada a trópicos altos	Medianamente tardío de 120 a 150 días	<i>andigena</i>
8	CIP 381381,13 Tigoni / IDIAP 92	Var Africana	378493.915 x BULK PRECOZ	De forma oval, ojos superficiales, color de piel crema, carne blanca.	Adaptada a clima tropical frío y días cortos	Precoz de 90 a 120 días	<i>tuberosum</i>
9	CIP 381381,20 Victoria	Var Africana	378493.915 x BULK PRECOZ	De forma comprimida, ojos superficiales, color de piel rosado, carne color crema	Adaptada a clima tropical frío y días cortos	Precoz de 90 días	<i>tuberosum</i>
10	CIP 700223 Yana Imilla	Var Nativa	No registra	De forma redonda, ojos profundos, piel color casi negra y carne blanca	Sierra sur – Puno; hasta 3.800 metros sobre el nivel del mar	Tardío de 155 a 160 días	<i>andigena</i>

### 3.5 EL SISTEMA AEROPÓNICO

Las raíces de las plantas se desarrollaron dentro de contenedores de 5 m de largo, 1.2 m de ancho y 0.8 m de altura, contruidos con madera y planchas de poliestereno expandido de 2 pulgadas de espesor y densidad 20 (Fotografía 2A). Cada contenedor fue forrado en su interior con polietileno negro de 6 micras.

La solución nutritiva, almacenada en un tanque, fue asperjada al interior de los contenedores, mediante nebulizadores, que generaban un microambiente con alta humedad relativa, lo que favoreció un rápido crecimiento y desarrollo de las raíces que estaban suspendidas en el aire. Se usó un tanque de 1200 litros, enterrado a nivel del piso. El tanque cumplió la función adicional de recibir el lixiviado de la solución nutritiva de los contenedores, permitiendo la recirculación de manera constante. Se usó una bomba de superficie de presión contaste de 0.75 HP para impulsar la solución nutritiva hacia el interior de los contenedores a través de una tubería de PVC de ¾ pulgada. En la salida de la

bomba, se instaló un pequeño hidroneumático para mantener la presión constante en el sistema (20 - 25 PSI), un filtro de anillos para evitar la obturación de los nebulizadores, así como los respectivos manómetros para el control de la presión del sistema (Fotografía 2B).

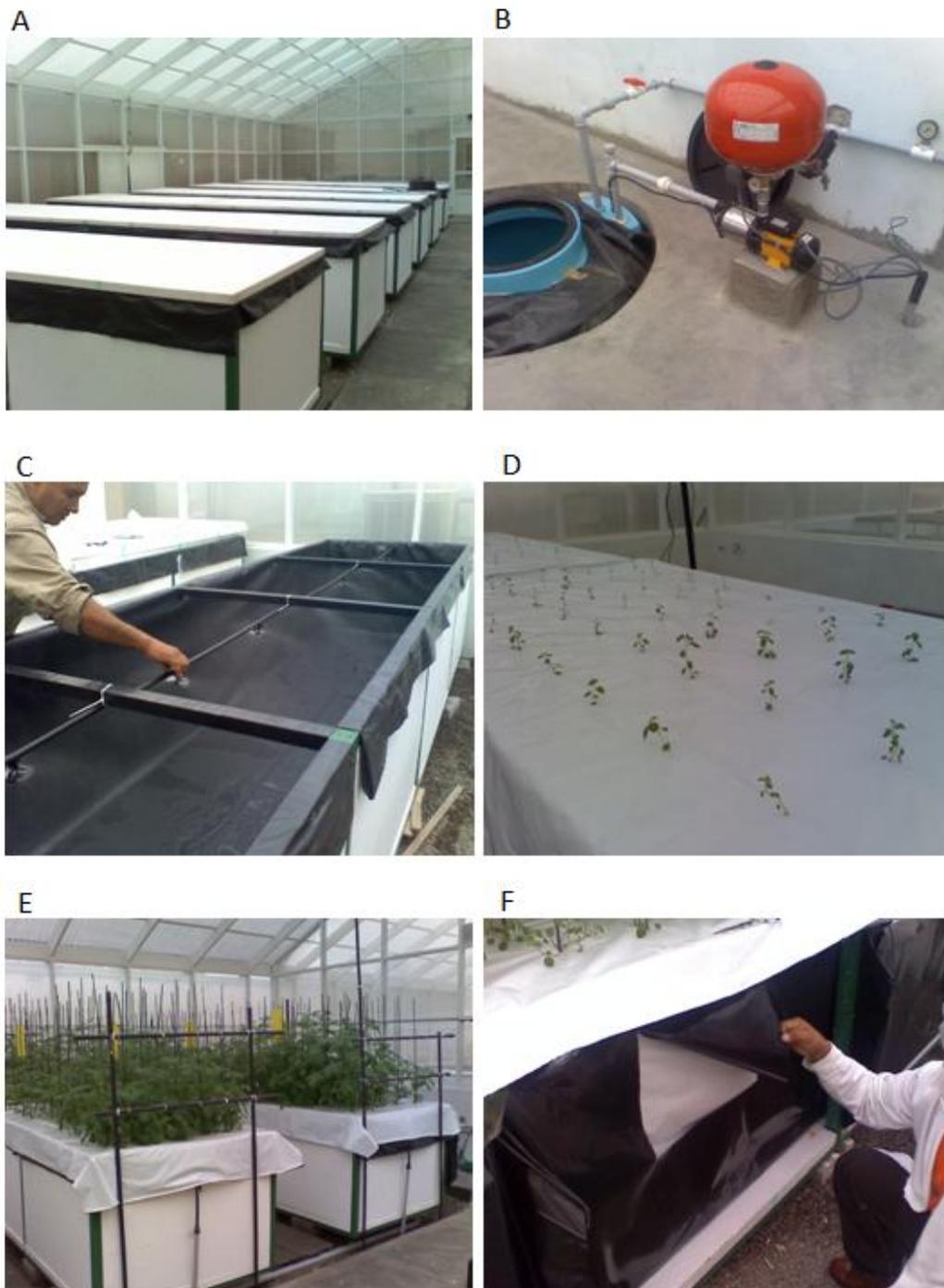
En el interior de cada contenedor, en la parte media superior, se ubicó una manguera de riego de 16 mm de diámetro donde se insertaron los nebulizadores con caudal de 30 Lt/h. Se colocaron 8 nebulizadores por contenedor a una distancia de 0.6 m entre cada uno (Fotografía 2C). En la parte interior del contenedor, en un extremo, se instaló un pequeño sifón que colectó la solución nutritiva drenada y no utilizada por las raíces de las plantas. Los contenedores tuvieron una pendiente de 2 % y se conectaban en la parte exterior, a una tubería de drenaje de 2 pulgadas de diámetro, de manera que el flujo regresaba por gravedad al tanque y recirculaba nuevamente.

En la parte superior, cada contenedor se cubrió con planchas de poliestireno expandido de 1 ½`pulgada de espesor de densidad 20. Estas planchas fueron forradas con plástico negro de 6 micras y, sobre éstas, se colocó un plástico blanco/negro de 3 micras de espesor a manera de mantel, con la parte blanca hacía arriba (efecto reflejo), para evitar la acumulación de calor en el interior del contenedor, principalmente durante los días soleados. Sobré la cubierta se hicieron agujeros de 2 cm de diámetro, en un marco de siembra de 20 cm entre hileras y 24 cm entre plantas (Fotografía 2D).

Para la labor de conducción de las plantas (tutores), se instalaron marcos de hierro fundido en cada extremo de cada contenedor como soporte principal y se usó pabito, estacas de bambú de 1 m de largo y sujetadores (qwik-ties) para soportar las plantas a medida que éstas iban creciendo (Fotografía 2E). Los mini-tubérculos fueron cosechados a través de pequeñas ventanas ubicadas a ambos lados de cada contenedor con dimensiones 0.5 m. de ancho y 0.4 m. de largo (Fotografía 2F). Las ventanas fueron cubiertas con el plástico utilizado para forrar internamente el contenedor.

El tiempo de nebulización del sistema aeropónico fue ajustado a través de observaciones visuales buscando mantener húmedas las raíces y turgencia en la parte aérea de las plantas. Se estableció un tiempo de 3 minutos de riego cada 5 minutos durante 24 horas. Se empleó un programador de riego módulo lógico universal marca Siemens LOGO

(Siemens AG, Postfach 4848, 90327 Numberg, Alemania), el cual permitió una automatización de la bomba para el encendido y el apagado en los tiempos determinados.



**Fotografía 2. Detalles del sistema aeropónico para la producción de mini tubérculos de papa. A) Construcción de contenedores o cajones de cultivo; B) Detalle cabezal de riego; C) Manguera de riego y nebulizadores en funcionamiento; D) Plántulas de papa trasplantadas; E) Sistema de tutoreo de plantas; F) Ventana lateral para cosecha de mini tubérculos.**

### 3.6 COMPOSICIÓN Y MANEJO DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA

Se empleó la solución nutritiva para Papa La Molina<sup>®</sup> (para cultivar raíces y tubérculos, Cuadro 4), la cual se preparó a partir de dos soluciones concentradas A y B (5 ml de solución A/Lt de agua y 2 ml de solución B/Lt de agua, ver Anexo 2). Esta solución, es una solución comercial formulada después de varios años de investigación del Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral de la Universidad Nacional Agraria La Molina, la cual se prepara a partir de fertilizantes comerciales de fácil adquisición. La solución concentrada A incluye el aporte de los nutrientes Nitrógeno, Potasio, Fósforo y Calcio, mientras la solución concentrada B aporta Azufre, Magnesio, Hierro, Manganeso, Cobre, Zinc, Boro y Molibdeno. La formulación cuenta con dos versiones de nutrición: la primera se emplea desde el transplante hasta los 35 días y, la segunda es aplicada desde los 35 días de establecidas las plántulas hacia delante. El cuadro 4 presenta la concentración de macro y micro nutrientes, usada en la investigación.

**Cuadro 4. Concentración de macro y micro nutrientes en partes por millón (ppm) utilizada en la investigación**

	Nutrientes en ppm (mg/L)											
	K	N	Ca*	S*	Mg*	P	Fe	Mn	B*	Zn	Cu	Mo
Primeros 35 días	220	190	150	70	45	35	3,5	1,0	0,5	0,15	0,1	0,05
Después de 35 días	275	81	150	92	24	39	1,2	0,5	0,5	0,15	0,1	0,05

\* Incluye el aporte que hace el agua de riego

De manera diaria se verificó el nivel del agua del tanque para hacer las reposiciones correspondientes por consumo por las plantas y pérdidas por evaporación, así como las correcciones propias del pH y de conductividad eléctrica (CE). El pH se mantuvo en un rango de 5.5 a 6.5, haciendo correcciones con ácido fosfórico al 85% y, la CE entre 1.5 a 2.0 dS/m, con la adición de agua o solución nutritiva, de acuerdo al caso necesario. De manera adicional, para evitar problemas de contaminación biológica en el tanque, así como un buen balance de macro y micro nutrientes, la solución nutritiva era totalmente cambiada cada mes.

### 3.7 CONDUCCIÓN DEL EXPERIMENTO

Los trabajos bajo invernadero se realizaron de manera similar en todos los ambientes. El calendario de transplante al sistema aeropónico en cada ambiente se muestra en el cuadro 5.

**Cuadro 5. Fechas de siembra de cada ambiente de estudio**

<b>Ambiente</b>	<b>Lugar</b>	<b>Identificación</b>	<b>Transplante</b>
1	LIMA	LM1	01-Ago-08
2	LIMA	LM2	09-Nov-08
3	LIMA	LM3	24-Abr-09
4	HUANCAYO	HY1	02-Dic-08
5	HUANCAYO	HY2	30-Abr-09

Previamente los genotipos fueron proporcionados por La Unidad de Adquisición y Distribución de Material Vegetal (ADU) del CIP. Las plántulas fueron recibidas en magentas, las cuales fueron transplantadas en bandejas con arena esterilizada para permitir un desarrollo apropiado de las raíces y su posterior acondicionamiento. Durante los primeros 21 días, se mantuvo la humedad de la arena usando regaderas y se aplicó la solución nutritiva para Papa a una dosis media (50% o 2.5 ml de solución A/Lt de agua y 1 ml de solución B/Lt de agua) para la primera semana. Luego de la segunda semana la solución se aplicó a la dosis recomendada (5 ml de solución A/Lt de agua y 2 ml de solución B/Lt de agua).

Cuando las plantas estuvieron listas para el transplante final al sistema aeropónico, éstas se extrajeron de las bandejas de enraizamiento con la ayuda de pinzas grandes. Con una brocha suave y agua limpia, se retiraron las partículas de arena adheridas a la raíz. Las plántulas se colocaron en los huecos hechos sobre la cubierta de cada contenedor, cuidando de que las raíces quedaran suspendidas en el interior, sosteniéndolas con un trozo pequeño de esponja envuelto alrededor del cuello para evitar que cayera dentro. Se verificó después del transplante final que los contenedores no tuvieran entradas de luz, asegurando total oscuridad.

De manera inicial, las plantas se sostuvieron solas los primeros 15 días después del transplante final al sistema aeropónico, después de ese tiempo, debido al rápido desarrollo, se instaló un sistema de entutorado, consistente en los marcos de hierro fundido, pabilo,

quik- ties y estacas de bambú. Al cabo de un mes de transplante, las hojas inferiores se removieron con un bisturí, siguiendo estrictas normas de asepsia, dejando al menos 5 nudos libres, los cuales una vez estuvieron cicatrizados, fueron jalados hacia el interior del contenedor simulando la labor de aporque.

Algunas plagas y enfermedades se presentaron en cada ambiente. En el Anexo 3 se muestra la relación de fechas de aparición de estas plagas así como su respectivo control fitosanitario.

### 3.8 COSECHA DE MINI-TUBÉRCULOS

La cosecha de mini-tubérculos de cada ambiente se realizó de manera distinta al de los sistemas convencionales; se realizaron cosechas secuenciales en el tiempo para cada ambiente. El criterio de la primera cosecha, fue el de iniciar con los genotipos que lograban al menos tubérculos por encima de 12 g y desde ese momento, hacerlo de manera escalonada. El cuadro 6, presenta las fechas de cosecha realizadas por cada ambiente de estudio.

**Cuadro 6. Fechas de cosechas realizadas para cada ambiente de estudio**

LM1	LM2	LM3	HY1	HY2
Oct 25/08	Feb 23/09	Jul 06/09	Mar 06/09	Jul 31/09
Nov 17/09	Mar 16/09	Jul 27/09	Mar 23/09	Ago 21/09
Nov 28/09	Abr 02/09	Ago 10/09	Abr 07/09	Sep 10/09
Dic 11/09	Abr 17/09	Ago 26/09	Abr 20/09	Oct 07/09
Dic 19/09	May 05/09	Sep 11/09	May 12/09	Oct 20/09
Ene 06/09	May 22/09	Sep 28/09	May 29/09	Nov 16/09
Ene 24/09	Jun 09/09	Oct 16/09	Jun 16/09	Dic 10/09
Feb 16/09	Jun 26/09	Oct 29/09	Jul 01/09	Ene 05/10
Mar 06/09	Jul 07/09	Nov 12/09	Jul 17/09	Ene 21/10
Abr 01/09	Jul 21/09	Dic 03/09	Jul 30/09	Feb 12/10
	Jul 31/09	Dic 15/09		
	Ago 17/09	Ene 05/10		
	Sep 02/09			

### **3.9 METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN**

#### **3.9.1 VARIABLES DE CLIMA**

Para las mediciones de las variables climáticas bajo el invernadero, se usaron estaciones meteorológicas automatizadas. En la estación La Molina, se instaló una estación tipo Watchdog modelo 450 (Spectrum Technologies, Inc. 23839 W Andrew Ed Plainfield, IL 60544) y en la estación Santa Ana, se instaló un HOBO modelo U12-012 (MicroDAQ.com, Ltd. Contoocook, NH 03229).

Con estas estaciones se llevaron registros horarios de temperatura bajo invernadero (°C), temperatura dentro de contenedores (°C), humedad relativa (%) y Radiación Fotosintéticamente Activa ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). A partir de los registros y considerando las fechas de cada campaña, se obtuvieron los valores promedio en que el cultivo se desarrolló. De manera adicional se midió en dos momentos (uno para cada localidad) la calidad de luz externa e interna de invernadero mediante un espectroradiómetro ASD VNIR (350 a 1100 nm) con el objeto de determinar la transmitancia de las mallas utilizadas y cuantificar en términos de porcentaje el paso de radiación exterior en  $\text{W m}^{-2}$ .

#### **3.9.2 VARIABLES AGRONÓMICAS**

##### **3.9.2.1 Evaluaciones durante la fase vegetativa del cultivo**

- a. Días a la tuberización (*D<sub>tub</sub>*): Se contaron los días a partir del transplante hasta la aparición de los primeros tubérculos, considerando tubérculos aquellos que tenían el doble del diámetro del estolón donde se desarrollaron. Se consideró este evento cuando al menos el 50% de las plantas de cada unidad experimental exhibieron el inicio de la tuberización.
- b. Días a la senescencia de planta (*D<sub>Senesc</sub>*): Se contaron los días a partir del transplante hasta el final de la senescencia. Se consideró el final de esta etapa cuando las plantas alcanzaron su madurez fisiológica, detallándose de manera visual la presencia de hojas amarillas en la planta completa.

- c. Altura de planta (*Alt*): se efectuó en 5 plantas elegidas al azar de cada unidad experimental, cuando alcanzaron su madurez fisiológica (determinación visual). Se utilizó una cinta métrica; la altura se midió desde la base del tallo hasta el ápice de la hoja de 1 cm de longitud, ubicada en la yema apical del tallo principal de la planta. Expresado en cm.
- d. Peso seco de planta (*PSP*): Incluyó el peso seco de tallos, hojas, raíces y estolones; evaluados en 2 plantas elegidas al azar de cada unidad experimental, secadas en estufa a 75°C durante 48 horas y expresado en g planta<sup>-1</sup>.
- e. Peso seco total (*PST*): Incluyó el peso seco de planta más el peso seco de tubérculos totales (*PSTb*) y expresado en g planta<sup>-1</sup>.

### 3.9.2.2 Evaluaciones durante la cosecha

- a. Rendimiento de planta (*Rend*): Evaluado al final y como resultado de las distintas cosechas escalonadas en el tiempo (cuadro 6). Expresado en g planta<sup>-1</sup>.
- b. Número de tubérculos por planta (*NT*): Es el número de tubérculos promedio por planta, considerados de buena calidad y mayores de 4 g, que se lograron en las distintas cosechas escalonadas en el tiempo.
- c. Peso promedio tubérculos (*PPT*): Es el resultado del rendimiento promedio por planta, dividido por el número total de tubérculos por planta.
- d. Peso seco tubérculos por planta (*PSTb*): Representa el peso seco total de tubérculos en gramos por planta; se determinó de manera indirecta con el porcentaje de materia seca que fue hallada secando 100 g. de tubérculos en estufa a 75°C durante 48 horas, según la expresión:

$$PSTb \text{ (gramos/planta)} = Rend \text{ (gramos/planta)} \times \text{materia seca en porcentaje (\%)}$$

- e. Índice de cosecha (*IC*): Representa la proporción del peso seco de tubérculos respecto al peso seco total de la planta y está dado por la expresión:

$$IC = (PSTb / PST) \times 100$$

Donde PST, es la suma de PSP más PSTb

### 3.10 DISEÑO EXPERIMENTAL

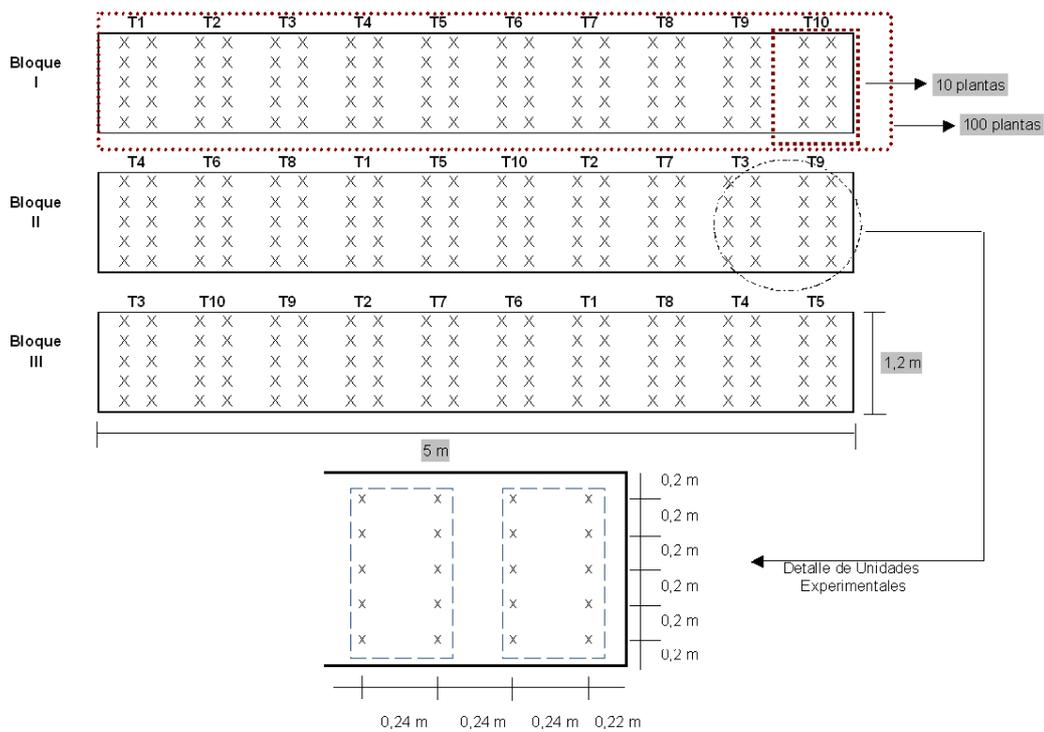
Para cada uno de los ambientes, los genotipos se organizaron en un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con 3 repeticiones. Cada contenedor representó un bloque/ repetición en un ambiente determinado. Los genotipos constituyeron los respectivos tratamientos (Cuadro 7).

**Cuadro 7. Tratamientos evaluados**

<u>Tratamiento</u>	<u>Número CIP</u>
T1	393371,58
T2	393077,54
T3	395434,1
T4	397036,7
T5	397077,16
T6	397073,16
T7	391691,96
T8	381381,13
T9	381381,20
T10	700223

La unidad experimental estuvo conformada por 10 plantas sembradas a una distancia de 20 x 24 cm y, cada tratamiento estuvo ubicado de manera aleatoria dentro de cada bloque. En la figura 6 se presenta el esquema de uno de los ambientes y a continuación se especifica la cantidad de plantas usadas en cada ambiente de prueba.

- Número de plantas por genotipo/bloque: 10
- Número de plantas total por bloque: 100
- Número de Bloques (repeticiones) por ambiente: 3
- Número de plantas total por ambiente: 300



**Figura 6. Esquema del diseño experimental empleado**

### 3.11 ANALISIS ESTADÍSTICO

Los datos de todas las características evaluadas se sometieron a la prueba W de Shapiro y Wilk (1965), que permitió determinar si cumplían o no con el supuesto de normalidad de sus residuales.

Se realizó un análisis de varianza simple por cada ambiente. Para los análisis individuales los efectos de bloques y tratamientos fueron considerados fijos utilizando como denominador para la prueba de F de la fuente de variación tratamientos el cuadrado medio del error experimental. En la separación de medias se utilizó la prueba de rangos múltiples Tukey con 5 % de significancia. El modelo aditivo lineal para el análisis simple del DBCA fue:

$$\gamma_{ij} = \mu + \beta_j + t_i + \varepsilon_{ij} \quad i = 1, \dots, t \quad j = 1, \dots, b$$

Donde:

$\gamma_{ij}$  : Observación en el j-ésimo bloque del i-ésimo tratamiento,

$\mu$  : efecto de la media general

$\beta_j$  : efecto del j-ésimo bloque.

$t_i$  : efecto de i-ésimo tratamiento.

$\varepsilon_{ij}$  : efecto aleatorio del error.

En el cuadro 8 se presenta el cuadro del ANVA simple para un ambiente, sus componentes y los cuadrados medios esperados para un diseño de bloques completos al azar.

**Cuadro 8. Análisis de variancia para un ambiente**

F.V	G.L.	CM	CME (Mod Fijo)	F test
Bloques	b-1	M1	$\sigma^2 e + t \sum B_j^2 / b-1$	M1/M3
Tratamientos	t-1	M2	$\sigma^2 e + b \sum t_i^2 / t-1$	M2/M3
Error	(b-1)(t-1)	M3	$\sigma^2 e$	
Total	(tb-1)			

Para el análisis de las variables de crecimiento y desarrollo se realizó una prueba de homogeneidad de varianzas de los errores mediante la prueba del F-Max de Hartley (1950), y determinar de esta manera los ambientes con respuesta similar. En los ambientes homogéneos se realizó un análisis combinado para un DBCA, considerando un modelo fijo (ambiente y genotipos como factor de efecto fijo). El modelo aditivo lineal para el análisis combinado fue:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + B_{(j)/k} + A_k + (GA)_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

En donde:

$Y_{ijk}$  : Valor del carácter estudiado

$\mu$  : Media General

$G_i$  : Efecto del genotipo

$B_{(j)/k}$  : Efecto del Bloque dentro del ambiente

$A_k$  : Efecto del ambiente

$(GA)_{ik}$ : Efecto de la interacción genotipo ambiente

$\varepsilon_{ijk}$  : Efecto aleatorio del error

En el cuadro 9 se presenta el ANVA combinado que incluye los factores Genotipo (G) y Ambiente (A) y los cuadrados medios esperados para un diseño de bloques completos al azar

**Cuadro 9. ANVA combinado de Genotipos y Ambientes y estimación de componentes de variancia para un modelo fijo (Ambientes y Genotipo factores de efecto fijo)**

F.V	G.L.	CM	CME (Mod Fijo)	Prueba de F
Gen (G)	g-1	M1	$\sigma^2e + b a \sum (G)^2 / g-1$	M1/M5
Amb (A)	a-1	M2	$\sigma^2e + b g \sum (A)^2 / a-1$	M2/M5
Bloque/Amb (B/A)	a(b-1)	M3	$\sigma^2e + g \sum (B_{b/a})^2 / a(b-1)$	-
Gen x Amb (GxA)	(g-1)(a-1)	M4	$\sigma^2e + b \sum (GA)^2 / (g-1)(a-1)$	M4/M5
Error conjunto	a(g-1)(b-1)	M5	$\sigma^2e$	
Total	gab-1			

Debido a la heterogeneidad de los materiales utilizados en la investigación en el Anexo 4 se descompuso la fuente de variación de genotipos en grupos de Precoces (A) y Tardíos (T), así como la respectiva descomposición en la interacción con el ambientes (A).

Una vez determinados los análisis previos de la significación de los efectos principales y su interacción, se realizó la respectiva descomposición de efectos simples para la interacción en las combinaciones del factor genotipo en cada nivel del factor ambiente y de las combinaciones del factor ambiente en cada nivel del factor genotipo; donde se encontraron diferencias significativas se realizó la prueba de separación de medias de Tukey con un 5 % de error.

Para las variables de producción (rendimiento, número de tubérculos por planta y peso promedio de tubérculo), se realizó un análisis AMMI para determinar el patrón de comportamiento individual de los genotipos y ambientes de estudio, así como explicar si había interacción en términos de los factores ambientales, a través de la descomposición de la interacción GXA en componentes multiplicativos mediante un análisis de componentes principales (ACP). El modelo AMMI integra el análisis de variancia cambiando y el análisis de componentes principales (Zobel *et al.* 1988; Yan *et al.* 2000). El modelo matemático que se utilize fue:

$$Y_{ijk} = \mu + \varphi_{k(j)} + \alpha_i + \beta_j + \sum_{e=1} \lambda_e \gamma_{in} \delta_{jn} + \rho_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Para:

$i = 1 \dots \dots g$  genotipos

$j = 1 \dots \dots j$  ambientes

$k = 1 \dots \dots k$  repeticiones

$n = 1 \dots \dots N = \min. (g-1, j-1)$  componentes o ejes

$K \leq N$

En donde:

$Y_{ijk}$ : Observación promedio del genotipo  $i$  en un ambiente  $j$ , en la repetición  $k$ .

$\mu$ : Media general

$\varphi_{k(j)}$ : Efecto del bloque  $k$  en el ambiente  $j$

$\alpha_i$ : Desvío con respecto al promedio general del genotipo  $i$

$\beta_j$ : Desvío con respecto al promedio general del ambiente  $j$

$\lambda_e$ : Es el valor singular (auto valor) del eje  $n$  del ACP de la interacción

$\gamma_{in}$ : Vector propio unitario (eigenvector) del genotipo  $i$  para el eje  $n$ -ésimo

$\delta_{jn}$ : Vector propio unitario (eigenvector) del ambiente  $j$  para el eje  $n$ -ésimo

$\rho_{ij}$ : Residuo del modelo AMMI

$\varepsilon_{ijk}$ : Término del error de la observación  $Y_{ijk}$

Los componentes aditivos del modelo ( $\mu$ ,  $\varphi$ ,  $\alpha$  y  $\beta$ ) son estimados por el ANVA y los componentes multiplicativos ( $\lambda$ ,  $\gamma$  y  $\delta$ ) son estimados a partir de la matriz de covarianzas  $\Sigma$  de la interacción  $(\alpha \beta)_{ij}$  mediante el análisis de componentes principales (ACP). Se multiplicó el autovalor  $\lambda_e$  por su vector propio asociado:  $(\lambda_e \gamma_{in})^{1/2}$  y  $(\lambda_e \delta_{jn})^{1/2}$ . El producto de dichas coordenadas (genotípicas y ambientales) permitió obtener la estimación de la interacción  $\lambda_e \gamma_{in} \delta_{jn}$ . El conjunto de estos valores constituyó la matriz de datos de la interacción G x A estimada por el método AMMI.

La suma de cuadrados de la interacción se dividió en  $N$  ejes de componentes principales. De acuerdo con Freeman (1973), se asume que los datos están constituidos por “patrón de variación + ruido”. De ese modo, el modelo AMMI particiona la varianza explicada por los tratamientos debido al patrón de variación y un residuo de variación debido al “ruido” de los datos. De este modo no se emplea la metodología de particionar la

varianza en bloques y error puro, tal como lo realiza el análisis de varianza convencional. Los grados de libertad (G.L) de los componentes principales se calcularon de acuerdo al procedimiento propuesto por Gollob (1968), mencionado por Acciaresi y Chidichimo (1999):

$$G.L = G + E - 1 - 2n$$

Donde, G es el número de genotipos; n, es el número de ejes retenidos; E, es el número de ambientes. El esquema de ANVA para el análisis AMMI realizado en esta investigación es presentado en el cuadro 10.

**Cuadro 10. Análisis AMMI de variancia**

F.V	G.L.	CM	CME (Mod Fijo)	F test
Gen (G)	g-1	M1	$\sigma^2 e + b a \sum (G)^2 / g-1$	M1/M5
Amb (A)	a-1	M2	$\sigma^2 e + b g \sum (A)^2 / a-1$	M2/M5
Bloque/Amb (BA)	a(b-1)	M3	$\sigma^2 e + g \sum (B_{b/a})^2 / a(b-1)$	-
Gen x Amb (GXA)	(g-1)(a-1)	M4	$\sigma^2 e + b \sum (GA)^2 / (g-1)(a-1)$	M4/M5
CP1	G+E-3	MCP1	$\sigma^2 e + R (\lambda_1 / G+E-3)$	MCP1/M5
CP2	G+E-5	MCP2	$\sigma^2 e + R (\lambda_2 / G+E-5)$	MCP2/M5
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
CPn	G+E-1-2(n)	MCPn	$\sigma^2 e + R (\lambda_n / G+E-1-2(n))$	MCPn/M5
Error conjunto	a(g-1)(b-1)	M5	$\sigma^2 e$	
Total	gab-1			

El porcentaje de la suma de cuadrados de la interacción (G x A) explicada por los n primeros componentes, está dada por la siguiente expresión:

$$[R (\lambda_1)^2 + R (\lambda_2)^2 + ..... + R (\lambda_n)^2 / SC (G x A) ] * 100$$

Donde:

R: Número de repeticiones

$\lambda_n$  : Es el valor singular (auto valor) del eje n del ACP de la interacción

$R(\lambda_n)^2$  : Suma de cuadrados del componente principal n

SC (G x A) : Suma de cuadrados de la interacción G x A.

El objetivo del modelo AMMI es estudiar la interacción entre los dos factores, es decir identificar comportamientos diferenciales de los niveles de un factor, por ejemplo genotipo; a través de los distintos niveles del otro, por ejemplo ambientes. En el análisis se representan gráficamente en un plano o *biplot* (denominado biplot de Gabriel, (1971)) los genotipos y los ambientes de manera simultánea. Este *biplot*, se construye a partir de los primeros dos componentes principales del análisis. Los genotipos o ambientes que poseen coordenadas elevadas para el primer eje principal (positivas o negativas) tienen una mayor aportación a la interacción G x A que los genotipos o ambientes con valores próximos a cero en dicho eje.

En la gráfica de componentes principales se pueden hacer agrupaciones de genotipos y ambientes de manera que cuando sus coordenadas respecto al primer eje de componentes principales CP1 tienen el mismo signo poseen interacción positiva, y cuando tienen distinto signo poseen interacción negativa. . El coseno del ángulo entre los vectores de dos genotipos o ambientes indica la correlación entre ellos con respecto a su interacción. Así que, ángulos agudos entre los vectores indican correlación positiva. Si los vectores son paralelos y en la misma dirección, entonces existe correlación igual a 1. Cuando los ángulos son obtusos, esto indica que existe correlación negativa, y si las direcciones son opuestas la correlación es de  $-1$ . Direcciones perpendiculares indican correlación 0.

El efecto de interacción entre un genotipo y un ambiente está dado por la proyección ortogonal del vector del genotipo sobre la dirección determinada por el vector del ambiente. Aquellos vectores de los ambientes que poseen la misma dirección que los vectores del genotipo se dice que tienen interacción positiva, es decir dichos ambientes son favorables para esos genotipos; por el contrario los vectores en direcciones opuestas se dice que tienen interacción negativa, es decir los ambientes son desfavorables. Todos los análisis estadísticos de análisis de variancia simples por ambiente y combinados para la respuesta de crecimiento y desarrollo se realizaron con el programa SAS versión 9.1. El análisis de AMMI para las variables de producción (Rendimiento promedio por planta,

número de tubérculos por planta y peso promedio de tubérculos por planta, fueron realizados con el programa estadístico R versión 2.9.2

### **3.12 EVALUACIÓN ECONÓMICA**

Para la evaluación económica del sistema aeropónico, se usó la base de costos generada por esta investigación en un ambiente determinado, partiendo de simular la actividad de producción de semillas en una escala comercial bajo las condiciones de la estación Santa Ana en Huancayo.

#### **3.12.1 ANALISIS DE LA INVERSIÓN**

##### **3.12.1.1 Inversiones o costos fijos**

Referido al capital empleado para la construcción del invernadero, compra de materiales, equipos y accesorios necesarios para el montaje del sistema aeropónico.

##### **Inversión Preliminar**

Incluyó la construcción de un invernadero para la producción comercial (80 m<sup>2</sup>) de mini-tubérculos de papa de 5 m de ancho, 16 m largo y 4 m de alto. De igual manera en la inversión preliminar se ha incluido la construcción de una caseta de riego, que alberga el cabezal del sistema aeropónico. Se definió un tiempo de vida útil de 7 años para este tipo de infraestructura.

### **Inversión Sistema Aeropónico**

Involucró la construcción de la infraestructura del sistema de aeroponía como fueron los contenedores de cultivo, el sistema de irrigación y drenaje, cabezal de riego y mano de obra de instalación. Se definió un tiempo de vida útil de 7 años para este tipo de inversión.

### **Otros costos de inversión**

Contempló la compra en equipos y materiales necesarios para desarrollar la actividad comercial y que fueron llevados a vida útil de 7 años y amortizados en cada campaña de producción.

#### **3.12.1.2 Costos operacionales o costos variables**

Este componente incluyó gastos que intervenían de manera directa en la actividad productiva.

### **Costos materiales e insumos**

Se incluyeron los costos ocasionados durante cada campaña de insumos para la desinfección del ambiente, plántulas de papa, soluciones nutritivas, fertilizantes comerciales, agroquímicos de control fitosanitario, costo de la energía y del agua, así como el costo de materiales y elementos de manejo bajo invernadero.

### **Otros costos variables**

Fueron considerados otros costos relacionados con los respectivos análisis de virus, diagnósticos de calidad de aguas, mantenimiento de equipos e infraestructura, así como el costo del responsable de la coordinación y el apoyo técnico para cada campaña de cultivo.

### **3.12.1.3 Ingreso bruto**

En este cálculo se consideró un precio base de venta unitario por mini-tubérculo de US \$ 0.22 (Maldonado *et al.*, 2007). Se estimó que toda la producción fuera comercializada con pérdidas que representaban solo 5% del total de mini-tubérculos producidos.

### **3.12.2 COSTO DE PRODUCCIÓN TOTAL Y RENTABILIDAD**

Para determinar el Costo de Producción Total (CPT), se usó la estructura de costos operacionales propuesta por Matsunaga *et al.* (1976), y usada por Factor (2007). Esta estructura se contempla los costos fijos, amortizándolos en cada campaña, así como los costos variables de la actividad productiva.

Se calculó el Costo de Producción Total (CPT) y el costo unitario de mini-tubérculo (US\$ / mini-tubérculo), por la relación entre el CPT y la cantidad de mini-tubérculos promedio de los 5 ambientes producida en el sistema aeropónico.

Para calcular el Beneficio Neto (BN), este se estimó de acuerdo a Maldonado *et al.* (2007), restando el valor del Ingreso Bruto con el Costo de Producción Total (CPT). La rentabilidad (R) se obtuvo como la razón entre el Beneficio Neto (BN) y el Costo de Producción Total (CPT) de la actividad de acuerdo con la expresión:

$$R = (BN/CPT) \times 100$$

### **3.12.3 INDICADORES DE VIABILIDAD ECONÓMICA**

Con los datos de costos fijos, costos variables e ingresos brutos, se elaboró un flujo de caja para el sistema de producción por aeroponía, que consideró un horizonte de tiempo del proyecto de 7 años, definido en función de la vida útil de la infraestructura empleada.

La diferencia entre el flujo de salida y los ingresos, representaron el flujo líquido de la actividad productiva. Los indicadores de viabilidad económica incluidos en el análisis

fueron: Tasa Interna de Retorno (TIR), Valor Presente Neto (VPN), *Payback* o periodo de recuperación de la inversión y la relación Beneficio/Costo.

#### **3.12.4 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD**

Para evaluar la sensibilidad de la actividad productiva, se analizaron dos escenarios: un primer escenario basado en una variación del rendimiento de las plantas, debido a las respuestas genéticas de los materiales y el posible efecto adverso del medio ambiente; para esto se estimaron los respectivos costos de producción, flujo de caja e indicadores con rendimientos de 20, 25, 30 y 35 mini-tubérculos por planta. Por otro lado, se tomó como escenario una variación de los precios por unidad de la semilla prebásica relacionado con algún exceso de semillas en el mercado o por inestabilidad de precios de acuerdo a lo argumentado por Ezeta (2001); se realizó el mismo procedimiento anterior, calculando los indicadores de viabilidad económica para costos por mini-tubérculo de US \$ 0,10, 0,15 y 0,20.

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1 EFECTO DEL AMBIENTE SOBRE EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO**

Los cuadrados medios del análisis del varianza simple en cada uno ambientes se presentan en el anexo 5, para las variables de crecimiento, desarrollo y producción de mini tubérculos de papa. Se detectaron diferencias altamente significativas para los genotipos en todos los ambientes de estudio. El anexo 6 presenta la comparación de medias entre los genotipos en cada ambiente, así como los valores promedio y los coeficientes de variación de cada variable.

#### **4.1.1 DIAS A LA TUBERIZACIÓN Y DÍAS A LA SENESCENCIA DE LA PLANTA**

Para determinar el efecto ambiental sobre los aspectos fenológicos del cultivo, el cuadro 11 presenta los cuadrados medios del análisis de varianza combinado para las variables de días a la tuberización y días a la senescencia de planta. En lo que respecta a los días a la tuberización, la prueba de homogeneidad de varianzas del error, permitió hacer el análisis combinado para los ambientes LM1, LM3 y HY1. Se observaron diferencias significativas para ambientes, genotipos y entre genotipos/ambientes; la alta significación encontrada, pone de manifiesto que los ambientes tuvieron efecto sobre los genotipos y que estos respondieron de manera distinta a los distintos ambientes. Esto demuestra que las condiciones ambientales generadas en cada localidad, son determinantes para la producción de mini tubérculos

**Cuadro 11. ANVA combinado para las variables fenológicas de 10 genotipos de papa evaluados en diferente número de ambientes**

Fuente Variación	G.L.	D tub	G.L.	D Senesc
		CM		CM
Ambientes	2	2783,43 **	3	25300,38 **
Bloques/Ambientes	6	22,32 *	8	60,51 *
Genotipos	9	2789,33 **	9	5604,68 **
Genotipos/Ambiente	18	587,63 **	27	1416,18 **
Error Conjunto	54	5,30	72	3,62

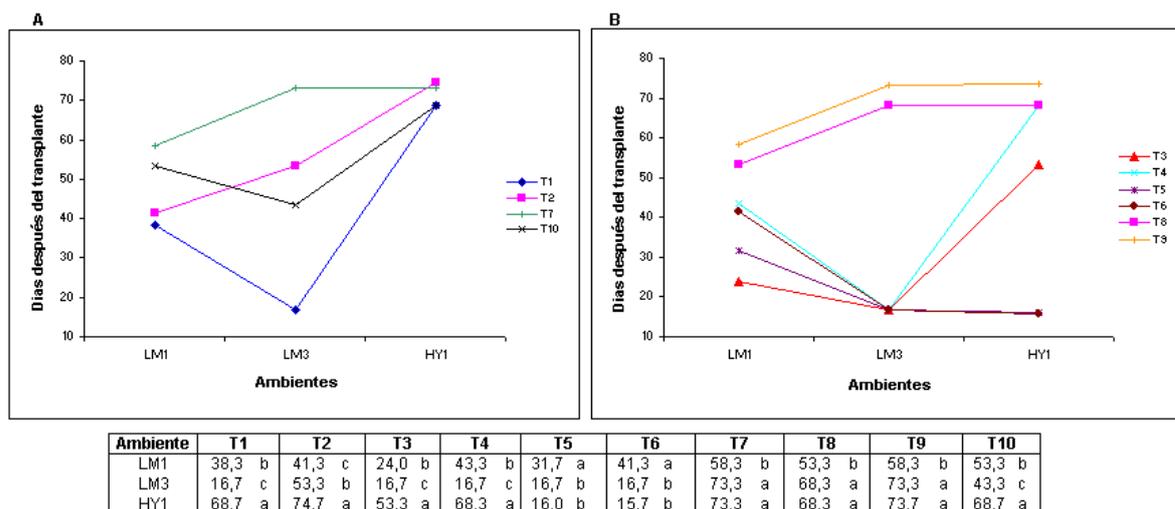
CV %	4,87	0,82
Media	47,30	230,20

\* Significación de F al 0,05; \*\* Significación de F al 0,01

D tub: Días a la Tuberización; D Senesc: Días a la senescencia de planta

El valor de coeficiente de variación del análisis combinado de 4.84% indica que en condiciones de invernadero hubo un buen grado de confiabilidad de los resultados. En el anexo 7 se puede ver la descomposición de efectos simples de la interacción G x A para la variable días a la tuberización para las combinaciones del factor ambiente en cada nivel de genotipo y las combinaciones factor genotipo en cada nivel de ambiente. Se encontraron diferencias altamente significativas entre los niveles de los ambientes para cada factor de genotipo.

La Figura 7, presenta el gráfico de la interacción G x A de la variable de días a la tuberización del factor genotipo en los distintos niveles del factor ambiente. Para una mejor interpretación de los resultados se han agrupado los genotipos con características de ser medianamente tardíos (T1: Chucmarina, T2: 393077,54 y T7: Serranita) y la variedad tardía (Yana Imilla), en una sola gráfica (A), y el grupo de genotipos precoces (T3: 395434,1, T4: 397036,7, T5: 397077,16, T6: 397073,16, T8: Tigoni y T9: Victoria), en otra (B)



**Figura 7. Gráfico de la interacción G x A para días a la tuberización de los distintos genotipos cultivados en diferentes ambientes: A) genotipos medianamente tardíos y variedad tardía, y B) genotipos precoces. Cuadro de comparación de medias de genotipos en los niveles de cada ambiente; dentro de cada tratamiento valores medios con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey  $P < 0,05$ )**

De acuerdo con la figura 7A, se puede determinar que, en condiciones del ambiente LM3 se presentó un menor tiempo para el inicio de la tuberización en los genotipos T1 (Chucmarina) y T10 (Yana Imilla) con 16,7 y 43,3 días respectivamente. Por otro lado, el ambiente donde se presentó de manera temprana el inicio de la tuberización, fue el ambiente LM1 para los genotipos T7 (Serranita) y T2 (393077,54) con 58,3 y 41,3 días. En el ambiente HY1, los 4 genotipos necesitaron más tiempo para iniciar el proceso de tuberización. Es importante resaltar que para el genotipo T7 (Serranita), no hubo efecto en la respuesta de los días a inicio de la tuberización, cuando éste se encontró en los niveles del ambiente LM3 a HY1. De acuerdo con la tendencia de las líneas de la figura, el efecto ambiental fue más fuerte en T1 (Chucmarina) y T10 (Yana Imilla).

La figura 7B muestra el gráfico de la interacción G x A para días a la tuberización de los genotipos agrupados en precoces; sus efectos simples pueden ser visualizados en la gráfica, cuando estos pasan a través de los niveles del factor ambiente. Se puede apreciar un comportamiento diferenciado del grupo de genotipos cuando están en condiciones de LM1 y luego en LM3; los genotipos T3 (395434,1), T4 (397036,7), T5 (397077,16), T6 (397073,16), redujeron a 16,7 días el inicio de la tuberización, mientras que para los genotipos T8 (Tigoni) y T9 (Victoria), esta necesidad de días aumentó, pasando de 53,3 y

58,3 días a 68,3 y 73,3 días respectivamente. La respuesta de los genotipos en las condiciones de LM3 a HY1, no originó diferencias para T8 (Tigoni) y T9 (Victoria), pero sí en los demás materiales; para T3 (395434,1) y T4 (397036,7) hubo un incremento en la necesidad de días para iniciar la tuberización, mientras que para los genotipos T5 (397077,16) y T6 (397073,16) los días requeridos disminuyeron, aunque siendo iguales estadísticamente entre los dos ambientes. El efecto ambiental más fuerte, fue experimentado por los genotipos T3 (395434,1) y T4 (397036,7).

De acuerdo con Pozo (1997), el denominado proceso de tuberización está determinado por factores medioambientales y genéticos. Los factores medioambientales más importantes que favorecen la tuberización son: fotoperiodo corto, bajas temperaturas (12 a 16° C), altos niveles de radiación y bajos niveles de fertilización nitrogenada. Estas condiciones pueden provocar cambios en el metabolismo de las plantas, que podrían transferir la señal medioambiental al lugar de formación del tubérculo (estolón) para empezar su formación.

Si se toman en cuenta los factores anteriormente mencionados que afectan la inducción en la tuberización, podría considerarse que la temperatura y la radiación fueron incidentes debido a su alta variabilidad entre los ambientes analizados. Los promedios de temperatura bajos, favorecen la inducción de la tuberización (Bodlaender, 1963; Gregory, 1965; Ewing, 1981) y estos fueron dados principalmente en el ambiente HY1 que mantuvo promedios de 15 C; sin embargo en este ambiente, solo se encontró esta respuesta para dos de los genotipos evaluados. De manera opuesta, el ambiente LM3 presentó los promedios más altos de temperatura (por encima de 20° C) al inicio del ciclo de cultivo, y fue en este ambiente, donde se presentó el menor tiempo para inducción de la tuberización en la mayoría de los genotipos.

Por otro lado Menzel (1985), destaca que la radiación es tan importante como el efecto de la temperatura; señalando que niveles bajos de radiación tienen el efecto similar a las altas temperaturas, retrasando de manera importante la inducción de la tuberización. Este autor sugiere que las condiciones de baja radiación, traen consigo el incremento en los niveles de Giberelinas, inhibiendo formación de tubérculos.

Detallando los valores promedio del PAR bajo los tres ambientes (anexo 1), el ambiente LM3 presentó al inicio del ciclo de desarrollo de las plantas, los valores promedio más altos (cerca de  $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), en comparación con los demás y buena parte de los genotipos respondieron de manera más rápida a la inducción bajo este ambiente. Menzel, (1984), reportó en evaluaciones controladas, la formación de tubérculos con temperaturas medias cercanas a los  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ , usando altos niveles de radiación.

Es importante resaltar el uso de la doble malla de sombra en el ambiente HY1, 10 días después del trasplante final, ya que esta labor pudo afectar el proceso de inducción en algunos genotipos. Los efectos del uso de mallas de sombra que reducen hasta un 50% los niveles de radiación durante las fases iniciales del cultivo, fueron estudiados en Holanda y en los Estados Unidos por Struik (1986), quién reportó un retraso en los días a la inducción de la tuberización. Las diferencias en las respuestas de esta variable es también resaltada por Brown (2007), que menciona que la inducción de la tuberización es afectada por la combinación de múltiples factores del ambiente, y se encuentra fuertemente ligada al efecto de cada genotipo. Como referencia a este punto se puede observar en el cuadro 12 un análisis general de la calidad de luz exterior e interior del invernadero realizado para las dos localidades, usando un espectroradiómetro ASD VNIR (350-1100 nm).

**Cuadro 12. Análisis de la calidad de luz en  $\text{W m}^{-2}$  para las condiciones exteriores y de invernadero en cada localidad**

	<b>La Molina</b>	<b>Huancayo</b>
Características	Una malla negra	Doble malla negra
Irradiancia en el Exterior	$251.73 \text{ W m}^{-2}$	$446.75 \text{ W m}^{-2}$
Irradiancia en el Interior	$55.38 \text{ W m}^{-2}$	$26.80 \text{ W m}^{-2}$
Transmitancia %	22	6

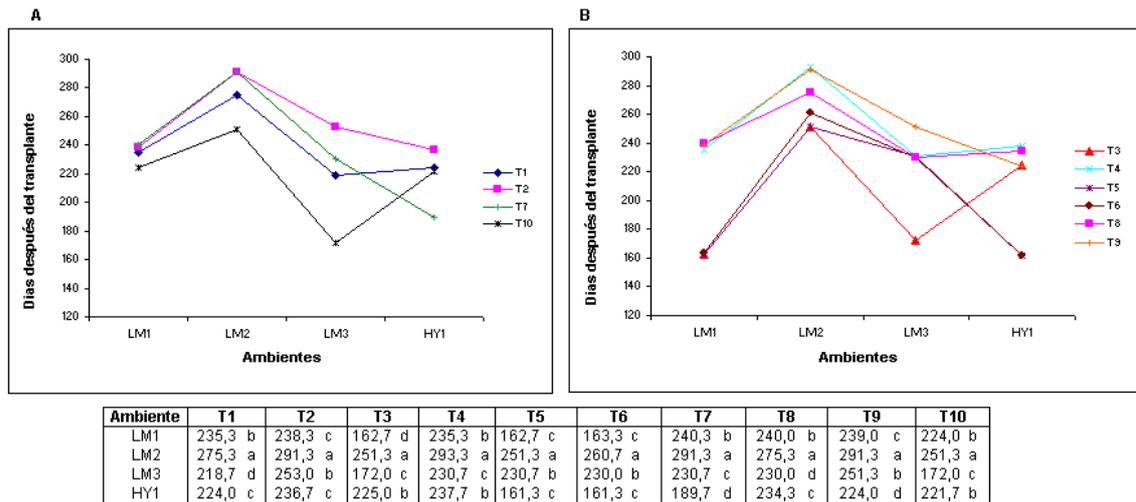
Aunque las irradiancias para cada localidad, fueron realizadas en momentos y horas distintas y es dependiente de las condiciones imperantes en el momento de la medición, la relevancia de estos datos radica en la capacidad de transmitancia de las mallas usadas para cada invernadero; los ambientes desarrollados bajo el invernadero de Costa (La Molina) tuvo la característica de tener una sola malla sobre el techo de policarbonato, permitiendo una transmitancia del 22% de la radiación solar exterior. Por otro lado, el invernadero de Sierra (Huancayo) contó con una doble malla que solo permitía el paso del 6% de la

radiación solar exterior. Esto podría confirmar lo reportado por distintos autores que analizaron el efecto de las mallas de sombra en el proceso de tuberización.

Para la variable de días a la senescencia, el análisis se realizó sobre 4 ambientes identificados como LM1, LM2, LM3 y HY1, en los cuales hubo homogeneidad de varianzas del error. La alta significación estadística mostrada en el cuadro 9, para la interacción G x A, indica que existe dependencia entre los factores de estudio, es decir que los días a la senescencia de la planta están determinados por el genotipo empleado y el ambiente en el cual estuvo establecido.

El coeficiente de variación del análisis combinado fue de 0.82%, valor que en condiciones de invernadero, asegura un buen grado de confiabilidad de los resultados. En el anexo 7 se observa la descomposición de efectos simples de la interacción G x A para la variable días a la senescencia total de planta para las combinaciones del factor ambiente en cada nivel de genotipo y las combinaciones factor genotipo en cada nivel de ambiente. Se encontraron diferencias altamente significativas en todos los niveles de la descomposición de la interacción.

La Figura 8, presenta el gráfico de la interacción G x A de la variable de días a la senescencia total de planta del factor genotipo en los distintos niveles del factor ambiente. De igual manera que para la variable anterior, se han agrupado los genotipos con características de ser medianamente tardíos (T1: Chucmarina, T2: 393077,54 y T7: Serranita) y la variedad tardía (Yana Imilla), en una sola gráfica (A), y el grupo de genotipos precoces (T3: 395434,1, T4: 397036,7, T5: 397077,16, T6: 397073,16, T8: Tigoni y T9: Victoria), en otra (B)



**Figura 8. Gráfico de la interacción G x A para días a la senescencia de los distintos genotipos cultivados en diferentes ambientes: A) genotipos medianamente tardíos y variedad tardía, y B) genotipos precoces. Cuadro de comparación de medias de genotipos en los niveles de cada ambiente; dentro de cada tratamiento valores medios con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey  $P < 0,05$ ).**

La figura 8A muestra el gráfico de la interacción G x A para días a la senescencia de los genotipos agrupados por ser semi tardíos y la variedad tardía. Los genotipos experimentaron variaciones importantes en la respuesta, que puede ser apreciada en el cuadro que acompaña la figura. En el ambiente LM2 se encontraron los mayores incrementos del ciclo vegetativo de las plantas; genotipos como el T2 (393077,54) y T7 (Serranita) tuvieron hasta 291,3 días. De igual manera en este ambiente los genotipos T1 (Chucmarina) y T10 (Yana Imilla) registraron los periodos más largos con 275,3 y 251,3 días respectivamente. Por otro lado, cuando los genotipos T1 (Chucmarina) y T10 (Yana Imilla) fueron probados en el ambiente LM3, registraron un ciclo de vida más corto. El T7 (Serranita) presentó en el ambiente HY1 un ciclo vegetativo de 198.7 días siendo su registro más corto a lo largo de los niveles del factor ambiente. El ambiente HY1 y LM1 tuvo el mismo efecto en días para los genotipos T2 (Chucmarina) y T10 (Yana Imilla). Existió un fuerte efecto ambiental para el genotipo T10 (Yana Imilla)

La figura 8B presenta los efectos simples de los factores genotipos del grupo de genotipos precoces en cada uno de los niveles del factor ambiente. Tal como lo sucedido con el anterior grupo de genotipos, en el ambiente de prueba LM2 se originó un incremento en el ciclo de vida de todos los materiales genéticos, alcanzando hasta los 293,3 días para el genotipo T4 (397036,7). Los genotipos T4 (397036,7), T5 (397077,16) y T6

(397073,16) fueron iguales estadísticamente en los ambientes LM1 y HY1. Los genotipos que exhibieron características de precocidad fueron el T3 (395434,1) con 162,7 y 172 días en los ambientes LM1 y LM3 y T5 (397077,16) y T6 (397073,16) con 163,3 y 161,3 días en los ambientes LM1 y HY1. Los genotipos T8 (Tigoni) y T9 (Victoria), no mostraron su característica propia de precocidad a lo largo de los ambientes. El efecto ambiental mas fuerte estuvo dado en los genotipos T3 (395434,1), T5 (397077,16) y T6 (397073,16).

Comparando estos resultados con los periodos vegetativos de los genotipos de interés (Cuadro 2), se registró un incremento del ciclo de vida en general; esto es concordante con los resultados obtenidos por Otazu y Chuquillanqui (2007), que reportaron un incremento hasta de un mes en plantas de papa de las variedades Canchan Perricholi y Yungay cultivadas bajo un sistema aeropónico, en comparación a las cultivadas en macetas en condiciones de sierra central del Perú. De igual manera Kang *et al.* (1996), reportaron también un incremento en el periodo vegetativo de plantas de papa, cuando se usaba un sistema aeropónico, concluyendo que era debido a la alta disponibilidad de nutrientes, especialmente de Nitrógeno.

Por otro lado, el ambiente LM2 fue llevado a cabo en condiciones cálidas durante al menos 7 meses del periodo vegetativo de las plantas, ocasionando un alargamiento inusual de los periodos vegetativos de los genotipos; estos resultados son similares a los encontrados por Khedher y Ewing (1985), que mencionaron un retraso en la madurez de 11 clones de papa, cultivados bajo invernadero en condiciones de estrés por calor. Las temperaturas por encima de 25° C puede ocasionar por un lado una extensión en el periodo de crecimiento del área foliar y prolonga de manera significativa el periodo del ciclo vegetativo de las plantas de acuerdo con Marinus y Boadlaender (1975), mencionado por Koman *et al.* (1996)

#### **4.1.2 .ALTURA DE PLANTA**

El análisis para esta variable se realizó sobre 4 ambientes identificados como LM1, LM2, LM3 y HY2, en los cuales hubo homogeneidad de varianzas del error. La alta significación estadística mostrada en el cuadro 13, para la interacción G x A, indica que

existe dependencia entre los factores de estudio, es decir que la altura de planta está determinado por el genotipo empleado y el ambiente en el cual éste estuvo establecido.

El coeficiente de variación del análisis combinado fue de 2.64%, valor que en condiciones de invernadero, asegura un buen grado de confiabilidad de los resultados. En el anexo 7 se presenta la descomposición de efectos simples de la interacción G x A para la variable altura de planta para las combinaciones del factor ambiente en cada nivel de genotipo y las combinaciones factor genotipo en cada nivel de ambiente. Se encontraron diferencias altamente significativas en todos los niveles de la descomposición de la interacción.

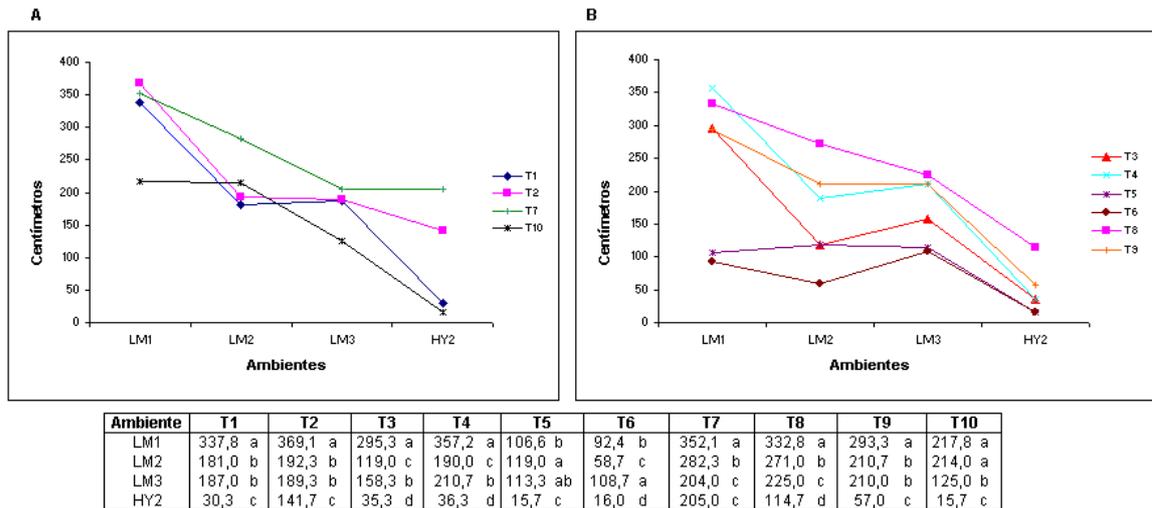
**Cuadro 13. ANVA combinado para las variables de crecimiento y desarrollo de 10 genotipos de papa evaluados en diferente número de ambientes**

Fuente Variación	G.L.	Alt	G.L.	PSTb	G.L.	PSP	G.L.	PST	G.L.	IC
		CM		CM		CM		CM		CM
Ambientes	3	218840,58 **	4	26871,14 **	2	14531 **	4	70494,55 **	3	0,0311 **
Bloques/Ambientes	8	12,22	10	332,74	6	27,80 *	10	438,07 *	8	0,0025
Genotipos	9	46121,81 **	9	34274,37 **	9	4596,02	9	62007,88 **	9	0,0302 **
Genotipos/Ambiente	27	6065,21 **	36	3627,49 **	18	2557,75 **	36	8457,42 **	27	0,0146 **
Error Conjunto	72	21,42	90	187,15	54	10,92	90	217,19	72	0,0013
CV %		2,64		16,16		9,01				4,65
Media		174,78		84,63		36,69				0,78

\* Significación de F al 0,05; \*\* Significación de F al 0,01

Alt: Altura de planta en cm; PSTb: Peso seco de tubérculos en g/planta; PSP: Peso seco de planta en g/planta; IC: Índice de cosecha

La Figura 9, presenta el gráfico de la interacción G x A de la variable Altura de planta de cada genotipo en los distintos niveles de ambiente de evaluación. Se han agrupado los genotipos con características de ser medianamente tardíos (T1: Chucmarina, T2: 393077,54 y T7: Serranita) y la variedad tardía (Yana Imilla), en una sola gráfica (A), y el grupo de genotipos precoces (T3: 395434,1, T4: 397036,7, T5: 397077,16, T6: 397073,16, T8: Tigoni y T9: Victoria), en otra (B)



**Figura 9. Gráfico de la interacción G x A para altura de planta en cm de los distintos genotipos cultivados en diferentes ambientes: A) genotipos medianamente tardíos y variedad tardía, y B) genotipos precoces. Cuadro de comparación de medias de genotipos en los niveles de cada ambiente; dentro de cada tratamiento valores medios con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey P <0,05).**

La figura 9A muestra el comportamiento del efecto simple del grupo de materiales medianamente tardíos y la variedad tardía, en los diferentes niveles del ambiente. El comportamiento de los genotipos T1 (Chucmarina) y T2 (393077,54) a través de los niveles del ambiente fue similar; se registraron las mayores alturas en el ambiente LM1 y las más bajas en el ambiente HY2. El efecto ambiental se hace evidente con el paso de los genotipos de LM1 a LM2, con una reducción importante de la respuesta de la altura de planta de 337,8 y 369,1 cm a 181 y 192,3 cm respectivamente. El cambio en la altura de los genotipos no fue importante cuando se pasó del ambiente LM2 a LM3, siendo iguales estadísticamente (cuadro adjunto a la figura). La altura del genotipo T7 (Serranita) fue igual a nivel estadístico en los ambientes LM3 y HY2; de la misma manera el genotipo T10 (Yana Imilla) no tuvo diferencias significativas en la respuesta altura de planta, en los ambientes de prueba LM1 y LM2. De manera general se puede decir que las condiciones del ambiente LM1 ocasionaron un incremento en la altura de planta para este grupo de materiales; en cambio, el ambiente HY2 ocasionó un efecto contrario, llegando incluso a registrarse valores promedio de 15,7 cm para el genotipo T10 (Yana Imilla).

El gráfico de los efectos simples del grupo de genotipos precoces en los diferentes niveles del ambiente se aprecia en la figura 9B. Es notorio el mayor efecto ambiental en la

respuesta de la altura de planta para los genotipos T3 (395434,1), T4 (397036,7), T8 (Tigoni) y T9 (Victoria); para estos genotipos, al igual que para el grupo analizado anteriormente, la mayor altura se presentó en el ambiente LM1 y el menor registro en el ambiente HY2. Los genotipos T5 (397077,16) y T6 (397073,16) experimentaron una variación en la respuesta menor en los niveles del ambiente LM1, LM2 y LM3. El efecto ambiental de HY2 redujo de manera importante la magnitud de la variable respuesta para todos los genotipos, alcanzando valores promedio de 15,7 y 16 cm en los genotipos T5 (397077,16) y T6 (397073,16), aunque fueron los genotipos que experimentaron en menor medida el efecto ambiental a través de todos sus niveles.

Los resultados muestran una diferencia importante en la respuesta del comportamiento de los genotipos. Los mayores registros de altura de planta se presentaron en los ambientes más cálidos (Costa), mientras en el ambiente de Sierra (HY2), que presentó eventos de bajas temperaturas nocturnas, los genotipos tuvieron su registro de altura más bajo. Wolf *et al.* (1990), resaltan que las temperaturas cálidas ocasionan una mayor translocación de fotosintatos hacia los órganos vegetativos (tallos y hojas) y concluyen que hay un importante efecto de la temperatura sobre la altura de planta y número final de hojas. Otros autores han confirmado que las altas temperaturas inducen plantas con tallos delgados, pequeñas hojas y mayor longitud de entrenudos (Steward *et al.*, 1981). Esta reacción al alargamiento de los tallos (crecimiento internodal), es debida sin duda a las síntesis de giberelinas por parte de las plantas, las cuales son sintetizadas de acuerdo a condiciones de alta disponibilidad de Nitrógeno y altas temperaturas (Vega *et al.*, 2006). Por otro lado no se debe dejar de lado el efecto de las cubiertas de los invernaderos y el uso de las mallas de sombra sobre la elongación de los tallos; en este sentido García-Martínez y Gil (2002), mencionan que esta elongación es modulada principalmente por las características de la luz, su intensidad y su calidad. Estos autores sostienen que una reducción en la intensidad de luz reduce la actividad fotosintética y se convierte en otro factor que incrementa los niveles de Giberelinas dentro de la planta.

La temperatura del ambiente radicular del ambiente HY2, presentó registros promedio por debajo de los 10° C en los primeros meses de desarrollo de las plantas, debido a la presencia de heladas en el ambiente externo, y ésta condición pudo haber afectado de manera importante la altura final de los genotipos evaluados. Este efecto de las temperaturas de la raíz ha sido estudiado en muchas especies; Richards (1921) mencionado

por Cooper (1973), estableció una curva de respuesta, destacando que temperaturas medias de raíz por debajo de 10 C, pueden originar plantas de papa de menos de 8 cm de altura.

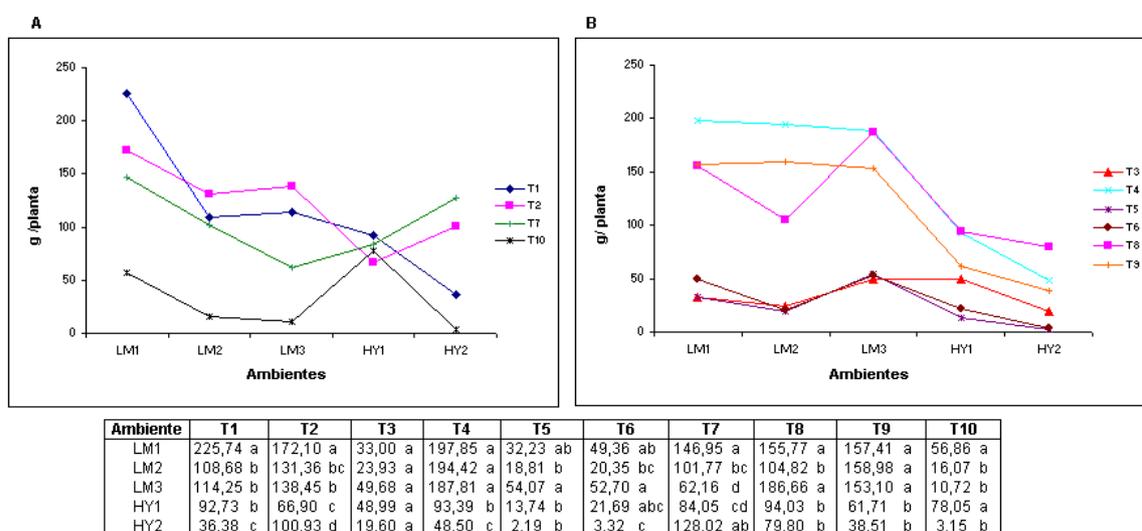
Aunque se pudo controlar algunas propiedades de la solución nutritiva como la conductividad eléctrica, el pH y la concentración de nutrientes, no así la temperatura de solución, ésta pudo haber afectado la toma de nutrientes por parte de las plantas. En este sentido, la temperatura de la solución nutritiva afecta la disponibilidad los nutrientes, la absorción y translocación de los mismos dentro de la planta, afectando indirectamente las tasas de síntesis de hormonas en las raíces de las plantas (Papadopoulos y Tieses, 1987). Barry (1996) resalta en su trabajo de investigación que la ocurrencia de temperaturas altas o bajas en la zona de raíces, origina desbalances nutricionales debido al efecto directo en la absorción de nutrientes. En trabajos recientes de investigación con los cultivares Atlantic y Superior, Chil *et al.* (2001), reportaron que el rango óptimo de temperatura de la solución nutritiva para cultivar plantas de papa, obtener un buen desarrollo y adecuados rendimientos, estaba entre los 20 y 25 C.

#### **4.1.3 PESO SECO DE TUBÉRCULOS POR PLANTA**

El análisis para esta variable se realizó sobre los 5 ambientes de estudio, donde hubo homogeneidad de varianzas del error para la variable respuesta. La alta significación estadística mostrada en el cuadro 13 para la interacción G x A, indica que existe dependencia entre los factores de estudio, es decir que el peso seco de tubérculos por planta está determinado por el genotipo empleado y el ambiente en el cual creció y se desarrolló.

El coeficiente de variación del análisis combinado fue de 16.16%, valor que en condiciones de invernadero, asegura un buen grado de confiabilidad de los resultados. En el anexo 7 se presenta la descomposición de efectos simples de la interacción G x A para el peso seco de tubérculo, en las combinaciones del factor ambiente en cada nivel de genotipo y las combinaciones factor genotipo en cada nivel de ambiente. En el mismo anexo, es resaltante que el genotipo T3 (395434,1) en los distintos niveles de los ambientes fue estadísticamente igual y por tanto no contribuyó a la interacción G x A.

En la Figura 10, se presenta el gráfico de la interacción G x A de la variable peso seco de tubérculos de cada genotipo en los distintos niveles de ambiente de evaluación. Se han agrupado los genotipos con características de ser medianamente tardíos (T1: Chucmarina, T2: 393077,54 y T7: Serranita) y la variedad tardía (Yana Imilla), en una sola gráfica (A), y el grupo de genotipos precoces (T3: 395434,1, T4: 397036,7, T5: 397077,16, T6: 397073,16, T8: Tigoni y T9: Victoria), en otra (B)



**Figura 10. Gráfico de la interacción G x A para peso seco de tubérculos en g planta<sup>-1</sup> de los distintos genotipos cultivados en diferentes ambientes: A) genotipos medianamente tardíos y variedad tardía, y B) genotipos precoces. Cuadro de comparación de medias de genotipos en los niveles de cada ambiente; dentro de cada tratamiento valores medios con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey P <0,05).**

La figura 10A presenta los efectos simples del grupo de genotipos semi tardíos y la variedad tardía en cada uno de los ambientes. El mayor peso seco de tubérculos para los genotipos T1 (Chucmarina) y T2 (393077,54) fue logrado en el ambiente LM1 con valores promedio de 225.74 y 172.10 g planta<sup>-1</sup>; mientras el peso seco de tubérculos no fue muy variable entre los ambientes LM2 y LM3. En cuanto al genotipo T7 (Serranita), el peso más bajo fue presentado en el ambiente LM3 con 62.16 g planta<sup>-1</sup>. La variedad nativa Yana Imilla (T10), alcanzó su máximo peso seco de tubérculos en el ambiente HY1 con 78.05 g planta<sup>-1</sup>, mientras su peso más bajo fue en HY2 con 3.15 g planta<sup>-1</sup>. Es resaltante el comportamiento del peso seco de tubérculos en el ambiente HY1 para este grupo de genotipos, donde hubo mayor proximidad en sus valores promedio.

Los efectos simples de los genotipos precoces en los niveles del factor ambiente, son presentados en la figura 10B. Es evidente un mayor efecto ambiental sobre los genotipos T4 (397036,7), T8 (Tigoni) y T9 (Victoria), mientras este efecto fue mucho menor en los genotipos T5 (397077,16) y T6 (397073,16). De acuerdo al cuadro de comparación de medias de la figura 12B, el genotipo T3 (395434,1) no presentó diferencias estadísticas a lo largo de los 5 ambientes de evaluación. Para el genotipo T5 (397077,16), no se encontraron evidencias de diferencias significativas en los ambientes LM2, HY1 y HY2, aunque el mayor peso seco de tubérculos se presentó en el ambiente LM3 con 54.07 g planta<sup>-1</sup>. En cuanto al genotipo T4 (397036,7) y T9 (Victoria), la tabla que acompaña a la figura 12B, muestra que tuvieron el mismo comportamiento estadístico en los ambientes LM1, LM2 y LM3, experimentando una reducción en la magnitud de la respuesta cuando fue probado en los ambientes de sierra de HY1 y HY2. El genotipo T8 (Tigoni) fue igual estadísticamente en los ambientes LM1 y LM3, lugares donde el peso seco de tubérculos fue mayor; de manera opuesta, los ambientes LM2, HY1 y HY2, fueron iguales estadísticamente, pero también los más bajos para esta variable respuesta.

De este modo, se ha comprobado una alta variación del comportamiento de los genotipos a lo largo de los ambientes de prueba. De manera general los mayores promedios de peso seco de tubérculos por planta se presentaron en los ambientes más cálidos imperantes en condiciones de Costa (LM1, LM2 y LM3) en comparación con los ambientes de Sierra (HY1 y HY2). Esto sería contrario a lo reportado por Manrique y Bartholomew (1991), que refirieron que la temperatura determinaría la distribución de foto-asimilados hacia diferentes partes de la planta; concluyen que los cultivares expuestos a altas temperaturas, pierden gradualmente la capacidad de localizar materia seca hacia los tubérculos, a medida que ésta es incrementada. En otro estudio Thornton *et al.* (1996) evaluaron el efecto de la temperatura sobre tres clones de papa, y encontraron que las temperaturas altas afectaron en mayor término la tasa de crecimiento de tubérculos que la tasa de crecimiento de la planta.

Por otro lado, otros autores mencionan que la distribución de foto-asimilados, puede estar controlada por factores genéticos (Ingram y McLoud, 1984; Ewing, 1981). Bajo esta premisa, solo la variedad nativa (Yana Imilla), presentó su mejor promedio de peso seco de tubérculo en el ambiente óptimo de Sierra HY1, confirmando así su mejor adaptabilidad a ese tipo de condiciones.

Adicionalmente los niveles de radiación, junto con los demás factores mencionados por Pozo (1997), juegan un papel fundamental en las tasas fotosintéticas de la planta. Una característica de los ambiente HY1 y HY2, fue su bajo PAR registrado, debido al uso de la doble malla de sombra, que pudo impactar sensiblemente en la acumulación de materia seca hacia los tubérculos; en este sentido, Sale (1976) mencionado por Li (1985), reportó que una reducción del 34% en la luz incidente, redujo la acumulación de materia seca en tubérculos de plantas papa del cultivar Sebago en condiciones de campo. Posteriormente, Allen y Scott (1980), encontraron que la relación entre la radiación interceptada y la biomasa acumulada en el cultivo de papa es lineal, tanto con respecto a la biomasa total, como para la materia seca del tubérculo. Gawronska *et al.* (1984), mencionan que cuando se cultivaron clones de papa bajo condiciones de PAR de  $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , las plantas no solo asimilaron menos carbono, sino que solo una pequeña parte fue derivada hacia los tubérculos. Bajo este punto de vista, el PAR promedio registrado para los ambientes de Sierra fue de 174.17 y  $172.42 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (HY1 y HY2 respectivamente) que concuerda con lo sostenido por Gawronska *et al.* (1984). Por otro lado, Jefferies y MacKerron (1989), concluyeron que los factores que más influyen sobre el rendimiento de papa son en primer medida la intercepción de la radiación durante su ciclo de desarrollo y el contenido de agua en el tubérculo.

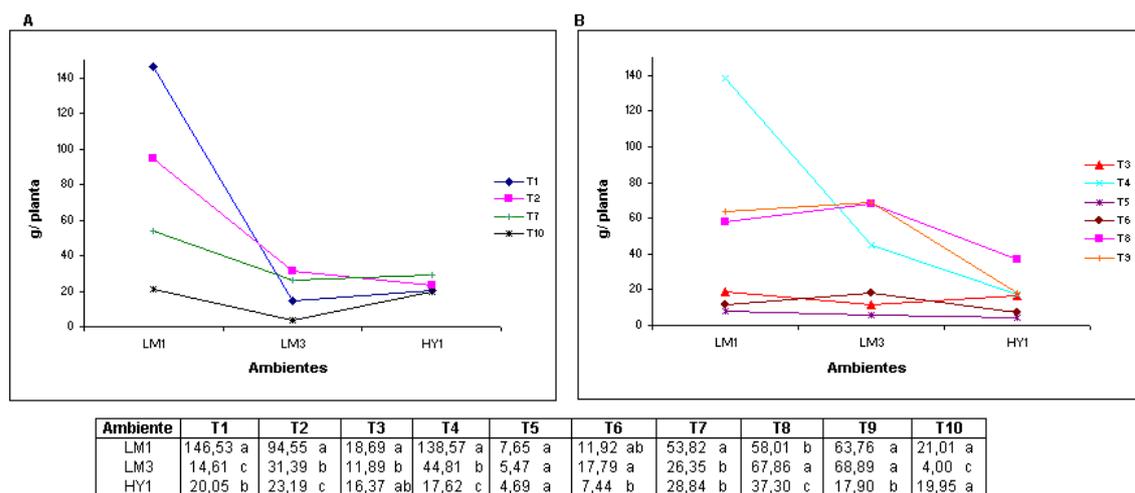
#### **4.1.4 PESO SECO DE PLANTA**

El análisis para esta variable se realizó sobre 3 ambientes de estudio que fueron LM1, LM3 y HY1, los cuales presentaron homogeneidad de varianzas del error. La alta significación estadística mostrada en el cuadro 13, para la interacción G x A, indica que existe dependencia entre los factores de estudio, es decir que peso seco de planta está determinado por el genotipo empleado y el ambiente en el cual estuvo establecido.

El coeficiente de variación del análisis combinado fue de 13.05%, valor que en condiciones de invernadero, asegura un buen grado de confiabilidad de los resultados. En el anexo 7 se presenta la descomposición de efectos simples de la interacción G x A para la variable peso seco de planta, para las combinaciones del factor ambiente en cada nivel de genotipo y las combinaciones factor genotipo en cada nivel de ambiente. Se resalta que el

genotipo T5 (397077,16) en los distintos niveles de los ambientes fue estadísticamente igual, sin contribuir a la interacción G x A.

En la Figura 11, presenta el gráfico de la interacción G x A de la variable peso seco de planta de cada genotipo en los distintos niveles de ambiente de evaluación. Se han agrupado los genotipos con características de ser medianamente tardíos (T1: Chucmarina, T2: 393077,54 y T7: Serranita) y la variedad tardía (Yana Imilla), en una sola gráfica (A), y el grupo de genotipos precoces (T3: 395434,1, T4: 397036,7, T5: 397077,16, T6: 397073,16, T8: Tigoni y T9: Victoria), en otra (B)



**Figura 11. Gráfico de la interacción G x A para peso seco de planta ( $\text{g planta}^{-1}$ ) de los distintos genotipos cultivados en diferentes ambientes: A) genotipos medianamente tardíos y variedad tardía, y B) genotipos precoces. Cuadro de comparación de medias de genotipos en los niveles de cada ambiente; dentro de cada tratamiento valores medios con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey  $P < 0,05$ ).**

La figura 11A muestra los efectos simples de los genotipos del grupo de materiales semi tardíos y la variedad tardía en los distintos niveles del factor ambiente. El mayor peso seco de planta fue registrado en el ambiente LM1 para los genotipos T1 (Chucmarina), T2 (393077,54) y T7 (Serranita) con 146.53, 94.55 y 53.82  $\text{g planta}^{-1}$  respectivamente. El genotipo T7 (Serranita) no tuvo diferencias significativas en los ambiente LM3 y HY1; de la misma manera el genotipo T10, no presentó diferencias significativas en los ambientes LM1 y HY2. Es posible apreciar de la figura como se presentó menor variación en la respuesta del peso seco de planta para los distintos genotipos en el ambiente HY1.

Los efectos simples de los genotipos precoces y semi precoces en los niveles del factor ambiental, están representados en la figura 11B. Se presentó un comportamiento similar en la respuesta del peso seco de planta para los genotipos T3 (395434,1) T5 (397077,16), y T6 (397073,16) en los ambientes de prueba LM1, LM3 y HY1. Se notó un mayor efecto ambiental en el genotipo T4 (397036,7), que presenta su máximo valor en el ambiente LM1 con 138.57 g planta<sup>-1</sup> y su menor valor de peso seco en el ambiente HY1 con 17.62 g planta<sup>-1</sup>. Los genotipos T8 (Tigoni) y T9 (Victoria) presentaron su mayor peso seco de planta en el ambiente LM3 y los valores promedio más bajos en HY1. El efecto ambiental para el genotipo T9 (Victoria) fue igual para los ambientes LM1 y LM3 siendo sus promedios estadísticamente iguales a los largo de estos dos niveles.

Para algunos genotipos (T3, T5 y T6) no hubo grandes diferencias cuando fueron probados en todos los ambientes mencionados, posiblemente por su adaptación a condiciones de estrés de calor (Cuadro 3). Por el contrario, otro grupo solo respondió de manera similar al peso seco de planta en los ambientes LM3 (estación de invierno en Costa) y HY1 (estación óptima de siembra en Sierra). El mismo grupo de genotipos, concentró su mayor peso en planta en el ambiente LM1, el cual inició a finales del invierno en las condiciones de Costa y se desarrolló en las temperaturas ascendentes de primavera y verano. Estos resultados son similares a los encontrados por Wolf *et al.* (1990), que probaron dos cultivares de papa (Norchip y Up-to-Date), siendo Norchip menos sensible al estrés por calor; aunque el desarrollo de las plantas fue altamente afectado, la acumulación de materia seca en planta fue menos en el cultivar Up-to-Date.

El efecto de la temperatura sobre la distribución de foto-asimilados posiblemente se encuentra relacionado en el transporte los azúcares dentro de la planta. Se ha encontrado que las hojas estresadas por calor, tienen menos almidón y más sacarosa de acuerdo con Lafta y Lorenzen (1995). Por otro lado, otros autores han mencionado que las variedades tolerantes a calor tienden a acumular menos almidón y más azúcares en las hojas, si estas son comparadas con variedades las sensibles a este estrés (Basu y Minhas, 1991). Lafta y Lorenzen (1995), notaron incrementos en los pesos de materia seca (hojas y tallos) a altas temperaturas; esto pareciera ser una razón para que en condiciones cálidas, la parte vegetativa sea un reservorio importante de la fotosíntesis (Basu y Minhas, 1991).

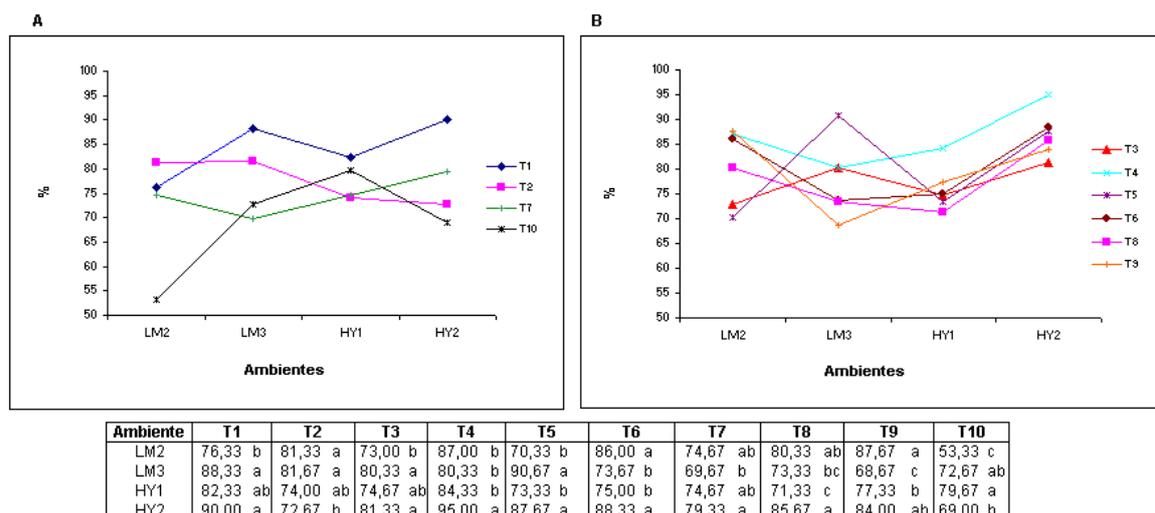
Aunque la producción de materia seca por el cultivo de la papa está determinada principalmente por la duración de su ciclo vegetativo según Spitters (1987) y Allen y Scott (1980), se pudo observar que para los genotipos T3 (395434,1) T5 (397077,16), y T6 (397073,16) que tuvieron diferencias claras en sus ciclos vegetativos, la respuesta del peso seco de planta fue prácticamente constante a lo largo de los ambientes de prueba. Los mayores promedios de peso seco de planta logrados en el ambiente LM1, pudieron estar asociados al hecho de que ha sido precisamente en éste ambiente, donde se presentaron los mayores promedios de la variable altura.

#### **4.1.5 ÍNDICE DE COSECHA**

El análisis para esta variable se realizó sobre 4 ambientes de estudio que fueron LM2, LM3, HY1 y HY2, que presentaron homogeneidad de varianzas del error. La alta significación estadística mostrada en el cuadro 13, para la interacción G x A, indica que existe dependencia entre los factores de estudio, es decir que el índice de cosecha está determinado por el genotipo empleado y el ambiente en el cual estuvo establecido.

El coeficiente de variación del análisis combinado fue de 4.65%, valor que en condiciones de invernadero, asegura un buen grado de confiabilidad de los resultados. En el anexo 7 se presenta la descomposición de efectos simples de la interacción G x A para la variable índice de cosecha, para las combinaciones del factor ambiente en cada nivel de genotipo y las combinaciones factor genotipo en cada nivel de ambiente.

En la Figura 12, presenta el gráfico de la interacción G x A de la variable índice de cosecha de cada genotipo en los distintos niveles de ambiente de evaluación. Se han agrupado los genotipos con características de ser medianamente tardíos (T1: Chucmarina, T2: 393077,54 y T7: Serranita) y la variedad tardía (Yana Imilla), en una sola gráfica (A), y el grupo de genotipos precoces (T3: 395434,1, T4: 397036,7, T5: 397077,16, T6: 397073,16, T8: Tigoni y T9: Victoria), en otra (B)



**Figura 12. Gráfico de la interacción G x A para el índice de cosecha de los distintos genotipos cultivados en diferentes ambientes: A) genotipos medianamente tardíos y variedad tardía, y B) genotipos precoces. Cuadro de comparación de medias de genotipos en los niveles de cada ambiente; dentro de cada tratamiento valores medios con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey P <0,05).**

Los efectos simples de los genotipos semi tardíos y de la variedad tardía en los niveles de cada factor ambiental se pueden apreciar en la figura 12A. El efecto ambiental fue mayor para el genotipo T10 (Yana Imilla) y para el T1 (Chucmarina); en estos dos genotipos, el índice de cosecha más bajo fue dado en el ambiente de prueba LM2 con 53,3 %, mientras los índices más altos estuvieron en los ambientes HY1 y HY2 respectivamente. El genotipo T2 (393077,54) no presentó diferencias estadísticas en los ambientes de prueba LM2 y LM3, pero estos fueron superiores a la respuesta encontrada en los ambientes HY1 y HY2. El genotipo T7 (Serranita) no tuvo diferencias significativas de índice de cosecha en los ambientes LM2 y HY2, presentando un índice máximo de 79,3 % en el ambiente HY2.

La figura 12B presenta la gráfica de los efectos simples de los genotipos precoces. El genotipo T3 (395434,1) no presentó diferencias significativas en los ambientes LM3 y HY2; tampoco hubo diferencias significativas para el genotipo T5 (397077,16) en los ambientes LM3 y HY2, presentándose en esos ambientes los índices de cosecha más altos, mientras sus índices más bajos fueron dados en los ambientes LM2 y HY1. Para el genotipo T6 (397073,16), los mejores ambientes relacionados con el índice de cosecha fueron los ambientes LM2 y HY2, presentando igualdad estadística entre ellos; de manera

opuesta, los ambientes con promedios más bajos fueron LM3 y HY1 también sin mostrar diferencias estadísticas. El genotipo T4 (397036,7) tuvo mayor índice de cosecha en el ambiente HY2 y sus promedios más bajos de la variable en los ambientes LM2, LM2 y HY1 siendo estadísticamente iguales. En cuanto a los genotipos T8 (Tigoni) y T9 (Victoria), obtuvieron mayor índice de cosecha en los ambientes HY2 y LM2 respectivamente.

El índice de cosecha (IC) determina la relación en la distribución de biomasa en la planta completa y los órganos de importancia económica como son los tubérculos, por lo que se considera como un índice de la eficiencia fisiológica (Mackerron y Heilbronn, 1985). Los índices registrados por los genotipos a lo largo de los ambientes de prueba estuvieron entre un rango de 53,3 y 95,0 %, encontrando similitud con los reportes de Rajwade *et al.*, (2000) quienes encontraron variaciones entre el 57,0 y 91,0 % en plantas de papa, con tubérculos maduros y follaje senescente; de éste modo es posible afirmar que los rangos encontrados representan diferencias que son debidas al ambiente de producción, a los genotipos o a la interacción entre ambos factores (Ezeta y McCollum, 1972; Victorio *et al.*, 1986).

Un hecho importante de resaltar son los valores de índice de cosecha de la variedad nativa; el registro más bajo fue presentado en el ambiente cálido de LM2 comparado con los índices logrados por algunos de los materiales avanzados provenientes del programa de mejora del CIP. Esto confirma los resultados de Struik y Ewing (1995), que mencionan que las altas temperaturas afectan no solo el inicio de la tuberización, sino que reduce la distribución de materia seca hacia los tubérculos e impactando de manera negativa en los índices de cosecha finales. Esto demuestra indirectamente, que uno de los objetivos de los programas de mejoramiento es la modificación de algunas características determinantes de la productividad, como son la acumulación de biomasa total y el índice de cosecha bajo ambientes estresantes de calor. En este sentido, Errebhi *et al.* (1999), aseguran que la distribución de biomasa hacia los tubérculos está muy relacionada con los niveles de domesticación en especies de papa, con casi 84% en genotipos cultivados de *S. tuberosum*, 7% en los materiales silvestres y 38% en los híbridos de ambos.

## 4.2 EFECTO DEL AMBIENTE SOBRE LA PRODUCCIÓN – ANÁLISIS AMMI

### 4.2.1 ANÁLISIS PARA EL RENDIMIENTO POR PLANTA

Se realizó el análisis AMMI considerando todos los ambientes de estudio para la variable respuesta de rendimiento de tubérculos expresado en g planta<sup>-1</sup>. El cuadro 14 presenta el análisis para los genotipos y ambientes.

**Cuadro 14. Análisis AMMI para el rendimiento de tubérculos (g planta<sup>-1</sup>) de 10 genotipos de papa evaluados en 5 ambientes durante el periodo 2008-2010**

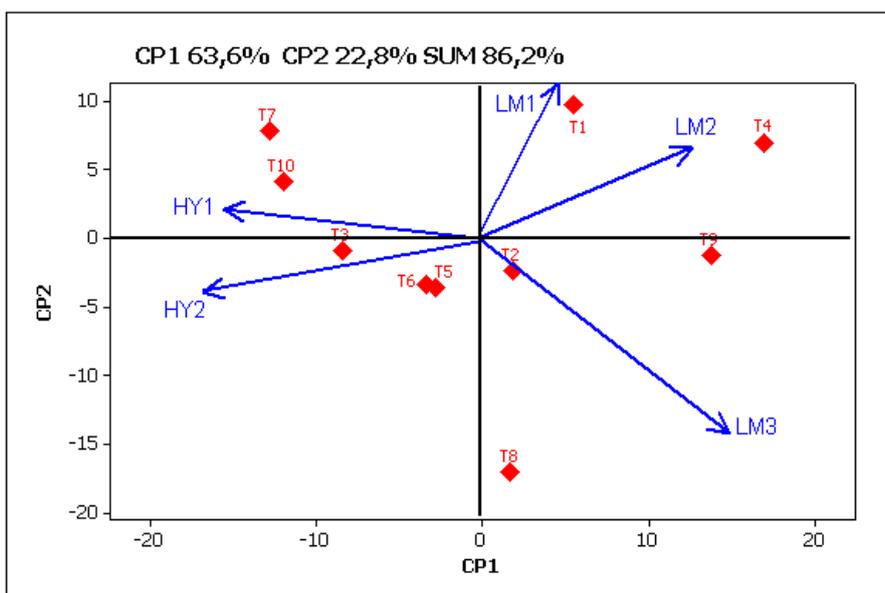
Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados Medios	%SC
Modelo	149	19043207,0		100 %
Ambientes	4	2437402,0	609350 **	12,8%
Bloques (ambientes)	10	2531269,0	25317 **	13,3%
Genotipos	9	9395130,0	1043903 **	49,3%
Interacción G X A	36	3897583,0	108266 **	20,5%
CP1	12	2480433,1	206702,76 **	63,6%
CP2	10	887684,0	88768,4 **	22,8%
CP3	8	418285,4	52285,67 **	10,7%
Residual	90	781823,0	18530,14	1,1%
CV %	21,0			
Media General	444,2			

\*\* Significación de F al 0,01

Se detectaron diferencias altamente significativas para los efectos principales de genotipos, ambiente y para la interacción G x A; esto demuestra que los genotipos tuvieron un comportamiento diferencial en todos los ambientes de estudio.

El análisis AMMI para el rendimiento de 10 genotipos evaluados en los 5 ambientes determinó que el 49.3% de la suma de cuadrados total fue atribuible a efectos genotípicos, mientras que los efectos ambientales y la interacción G x A fueron el 12.8 % y 20.5 % respectivamente. Es posible apreciar, como el mayor peso de la variación en el rendimiento estuvo concentrada por el efecto genotípico, debido posiblemente a la amplia diversidad del material genético utilizado en la investigación. La magnitud de la suma de cuadrados de la interacción G x A fue casi 2.5 veces menor que la dada por el efecto genotípico, pero 1.6 veces mayor que la suma de cuadrados dada por el ambiente, indicando distintas respuestas de los genotipos a lo largo de los ambientes de prueba.

Haciendo el análisis sobre la interacción, se puede observar como los tres primeros componentes principales (CP1, CP2 y CP3) obtenidos resultaron ser altamente significativos (Cuadro 14). El primer eje del análisis de componentes de la interacción (CP1) explicó o capturó el 63.6 % de la suma de cuadrados de la interacción, y el segundo eje (CP2) el 22.8 %. Estos resultados demuestran que el efecto de la interacción G x A fue explicado en un 86.2 % por las dos primeras CP. Para una mejor interpretación, la figura 13 presenta una doble representación gráfica o *biplot*, considerando los efectos de las dos primeras CP para la interacción (CP1 versus CP2 del cuadro 15).



**Figura 13. Biplot del análisis AMMI para el rendimiento de tubérculos ( $\text{g planta}^{-1}$ ) de 10 genotipos de papa evaluados en 5 ambientes durante el periodo 2008 – 2010.**

El *biplot* presentado en la figura 14 permite clasificar a los genotipos y ambientes en función de la interacción G x A. tiene 4 secciones dependiendo de los signos de los scores ambientales y genotípicos. Como consecuencia de esto, los genotipos y ambientes con valores de CP del mismo signo interactúan positivamente y el agrupamiento de los genotipos y los ambientes en el mismo cuadrante indica una asociación positiva entre ellos.

Los ambientes se ubican en dichas secciones, y están representados por una línea vector de color azul para mejorar su apreciación y los genotipos por rombos de color rojo. De esta manera, es posible observar como todos los ambientes ocasionaron en menor o mayor grado la interacción G x A. El genotipo T1 tuvo la mejor adaptación en el ambiente LM1, el T4 fue mejor en LM2 y el T2, T8 y T9 fueron más afines al ambiente LM3

respectivamente. De igual manera los genotipos T7 y T10 fueron afines para el ambiente HY1 y T3, T5 y T6 para el ambiente HY2. Por otro lado, los genotipos situados cerca al centro de la gráfica de doble representación o *biplot* fueron los que menos aportaron a la interacción G x A; de esta manera los genotipos T2, T5, y T6 pueden ser considerados como más estables en la respuesta final, mientras los genotipos T1, T4, T7 y T9 resultaron ser los que más aportaron a la interacción con un mayor efecto del ambiente sobre su respuesta.

El cuadro 15 muestra el rendimiento promedio por planta para cada genotipo y cada ambiente, las medias genotípicas y ambientales, promediadas por filas y columnas, así como las coordenadas CP1 y el CP2 para genotipos y ambientes.

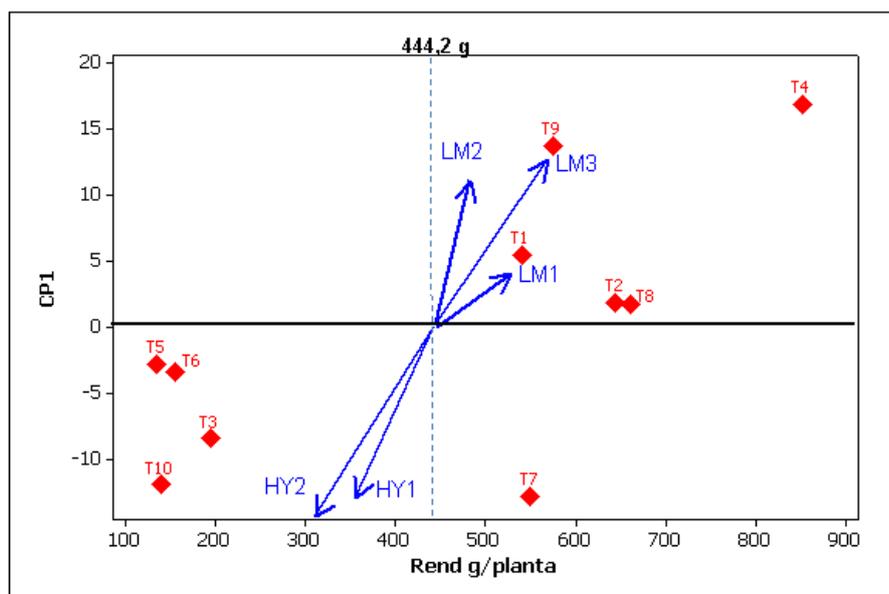
**Cuadro 15. Rendimiento promedio de tubérculos (g planta<sup>-1</sup>) de 10 genotipos de papa evaluados en 5 ambientes y valores de las coordenadas de los dos primeros componentes principales para genotipos y ambientes**

Genotipos	Ambientes					Media	CP1	CP2
	LM1	LM2	LM3	HY1	HY2			
T1	860,23	655,10	636,13	353,47	193,70	539,73	5,442	9,702
T2	739,03	708,63	842,90	319,63	610,73	644,19	1,790	-2,457
T3	233,87	126,80	239,10	242,23	128,10	194,02	-8,460	-0,909
T4	1153,17	1137,30	1144,10	459,10	368,37	852,41	16,906	6,977
T5	184,70	100,60	308,67	65,70	12,10	134,35	-2,850	-3,565
T6	210,37	103,57	321,50	115,80	18,03	153,85	-3,417	-3,343
T7	687,70	528,13	362,57	506,13	663,43	549,59	-12,850	7,780
T8	567,70	558,37	1130,53	511,27	532,47	660,07	1,673	-17,064
T9	620,80	877,93	926,17	310,30	120,33	571,11	13,724	-1,288
T10	197,57	82,77	52,47	349,77	18,23	140,16	-11,956	4,132
Media	584,17	532,94	656,85	320,40	294,14			
CV %	30,14	22,89	9,04	8,32	8,99			
CP1	4,769	12,476	14,757	-15,268	-16,734			
CP2	13,644	7,833	-16,571	-0,269	-4,666			

Los ambientes de Costa LM1, LM2 y LM3 se ubicaron por encima del rendimiento promedio de toda la experimentación (444.2 g planta<sup>-1</sup>), en contraposición con los ambientes de Sierra (HY1 y HY2). Los genotipos T1, T2, T4, T7, T8 y T9 fueron los de mayor rendimiento promedio a través de todos los ambientes, mientras los genotipos T3,

T5, T6 y T10 tuvieron rendimientos promedios por debajo de la media general del experimento. Los genotipos T2, T5 y T6 con valores absolutos más bajos de las dos CP, indican bajas interacciones y pueden ser considerados como los genotipos que presentaron menor afectación por los cambios de ambientes.

El *biplot* de la figura 14, presenta el rendimiento promedio en función de las coordenadas del primer eje de CP1 de genotipos y ambientes. La línea vertical punteada representa el rendimiento promedio ( $x = 444.2 \text{ g planta}^{-1}$ ), los ambientes han sido señalados por una línea vector de color azul y los genotipos como rombos de color rojo.



**Figura 14.** Doble representación gráfica del CP1 en función del rendimiento promedio ( $\text{g planta}^{-1}$ ) de 10 genotipos de papa evaluados en 5 ambientes durante el periodo 2008 – 2010.

Crossa *et al.* (1990), menciona que los genotipos y ambientes con coordenadas elevadas sobre la CP1, consideradas en valor absoluto, contribuyen en mayor medida a la interacción G x A, mientras los genotipos y ambientes con CP1 cercanos a cero tienen poca participación sobre este efecto. De acuerdo con esta interpretación, se puede apreciar que los genotipos T2 y T8 aportaron poco a la interacción. Por otro lado, los genotipos de más alto rendimiento fueron T4, T8 y T2. Relacionado con el ambiente, LM1 fue el que menos aportó a la interacción, LM3 fue donde mejor se expresó el rendimiento y en contraposición el ambiente HY2 fue donde se presentaron los más bajos promedios, aportando de manera importante a la interacción junto con HY1. Para Yan *et al.* (2000),

aquellos ambientes que exhiben entre ellos un ángulo menor a 90 tienen la cualidad de clasificar los genotipos de una manera semejante; éste comportamiento ocurrió con los ambientes llevados a cabo en cada localidad, pues se encontró este tipo de agrupamiento para todos los ambientes realizados en Huancayo y en Lima. Sin embargo, este mismo autor resalta que los ambientes que forman un ángulo de 180 tienden a ordenar de manera inversa a los genotipos.

#### 4.2.2 ANÁLISIS PARA EL NÚMERO DE TUBÉRCULOS POR PLANTA.

El análisis AMMI realizado para la variable de número de tubérculos por planta se presenta en el cuadro 16.

**Cuadro 16. Análisis AMMI para el número de tubérculos por planta de 10 genotipos de papa evaluados en 5 ambientes durante el periodo 2008-2010**

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados Medios	%SC
Modelo	149	110338,0		
Ambientes	4	8042,0	2010,6	*7,3%
Bloques (ambientes)	10	1177,0	117,71	1,1%
Genotipos	9	67732,0	7525,7	**61,4%
Interacción G X A	36	27583,0	766,2	**25,0%
CP1	12	16014,7	1334,55	** 58,1%
CP2	10	8662,6	866,85	** 31,4%
CP3	8	2166,9	270,86	** 7,9%
Residual	90	5804,0	64,55	3,3%
CV %	16,4			
Media General	48,99			

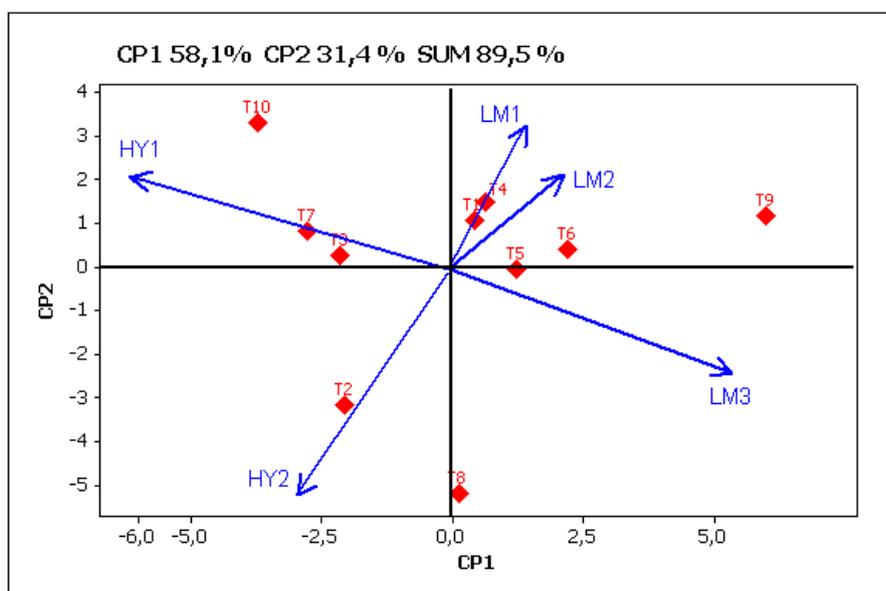
\*\* Significación de F al 0,01; \* Significación de F al 0,05

Se detectaron diferencias significativas para el efecto principal de ambiente y altamente significativas para los efectos principales de genotipos, y para la interacción G x A; esto demuestra que los genotipos tuvieron un comportamiento diferencial a lo largo de los ambientes de evaluación.

El análisis AMMI para rendimiento de los 10 genotipos evaluados en los 5 ambientes determinó que el 61.4% de la suma de cuadrados total fue atribuible a efectos genotípicos, mientras que los efectos ambientales y la interacción G x A fueron el 7.3 % y 25 % respectivamente. De nuevo para esta variable respuesta, es posible apreciar el mayor

peso de la variación en el efecto genotípico, debido posiblemente a la amplia diversidad del material genético utilizado en la investigación. La magnitud de la suma de cuadrados de la interacción G x A fue casi 2.4 veces menor que la dada por el efecto genotípico, pero 3.4 veces mayor que la suma de cuadrados dada por el efecto del ambiente, indicando de esta manera las distintas respuestas de los genotipos a lo largo de los ambientes de prueba

Haciendo el análisis sobre la interacción, se puede observar como los tres primeros componentes principales (CP1, CP2 y CP3) obtenidos resultaron ser altamente significativos (Cuadro 16). El primer eje del análisis de componentes de la interacción (CP1) explicó o capturó el 58.1 % de la suma de cuadrados de la interacción, y el segundo eje (CP2) el 31.4 %. Estos resultados demuestran que el efecto de la interacción G x A fue explicado en un 89.5 % por las dos primeras CP. Para una mejor interpretación de la interacción, la figura 15 presenta una doble representación gráfica o *biplot*, considerando los efectos de las dos primeras CP para la interacción (CP1 versus CP2 del cuadro 17).



**Figura 15. Biplot del análisis AMMI para el número de tubérculos por planta de 10 genotipos de papa evaluados en 5 ambientes durante el periodo 2008 – 2010.**

El *biplot* presentado en la figura 15 permite clasificar a los genotipos y ambientes en función de la interacción G x A. tiene 4 secciones dependiendo de los signos de los scores ambientales y genotípicos. Como consecuencia de esto, los genotipos y ambientes con valores de CP del mismo signo interactúan positivamente y el agrupamiento de los genotipos y los ambientes en el mismo cuadrante indica una asociación positiva entre ellos. Los ambientes se ubican en dichas secciones, y están representados por una línea vector de color azul para mejorar su apreciación y los genotipos por rombos de color rojo

De acuerdo la figura 15, es posible apreciar que todos los ambientes ocasionaron en menor o mayor grado la interacción G x A para la variable número de tubérculos por planta. Los genotipos T1 y T4 tuvieron la mejor respuesta en el ambiente LM1, el genotipo T2 con el ambiente adverso HY2 y los genotipos T7 y T3 con al ambiente HY1 Por otro lado, los genotipos situados cerca al centro de la gráfica de doble representación o *biplot* fueron los que menos aportaron a la interacción G x A; así los genotipos T1, T5, T6 y T3 fueron estables en la respuesta al número de tubérculos por planta cuando fueron probados en los 5 ambientes, mientras los genotipos T2, T8, T9 y T10 resultaron ser los que más aportaron a la interacción y experimentaron en mayor medida en el efecto ambiental.

El cuadro 17 muestra el rendimiento promedio por planta para cada genotipo y cada ambiente, las medias genotípicas y ambientales, promediadas por filas y columnas, así como las coordenadas CP1 y el CP2 para genotipos y ambientes.

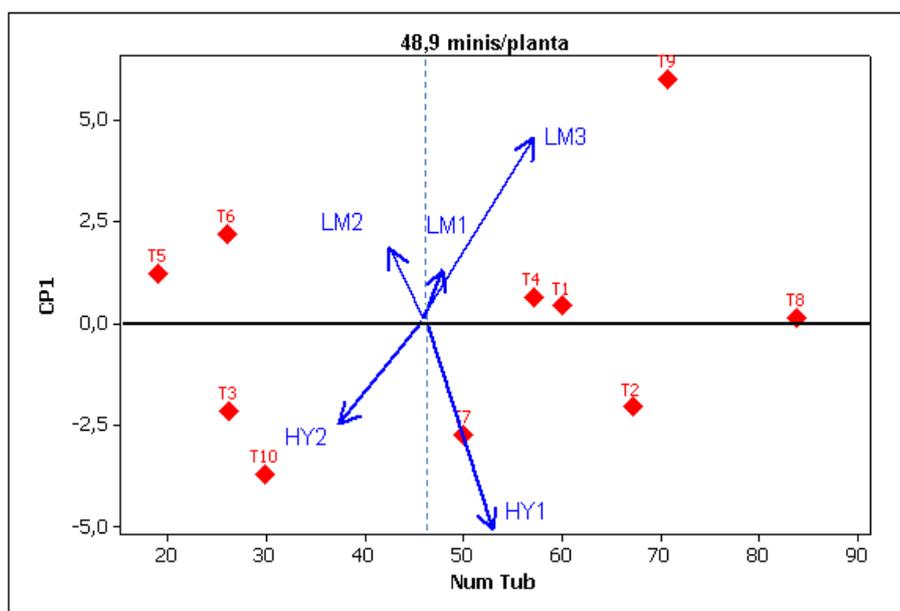
**Cuadro 17. Número promedio de tubérculos por planta de 10 genotipos de papa evaluados en 5 ambientes y valores de las coordenadas de los dos primeros componentes principales para genotipos y ambientes**

Genotipos	Ambientes					Media	CP1	CP2
	LM1	LM2	LM3	HY1	HY2			
T1	71,70	50,17	70,47	65,13	42,90	60,07	0,426	1,048
T2	49,27	57,63	72,50	77,60	78,90	67,18	-2,052	-3,176
T3	23,77	16,90	25,40	45,70	19,17	26,19	-2,145	0,260
T4	60,23	61,30	65,40	61,80	36,87	57,12	0,644	1,471
T5	22,87	15,00	34,87	17,03	5,37	19,03	1,227	-0,059
T6	30,40	24,87	47,97	21,43	5,63	26,06	2,210	0,380
T7	56,20	48,87	31,43	62,07	51,23	49,96	-2,743	0,819
T8	67,37	62,77	110,47	80,87	97,63	83,82	0,127	-5,218
T9	81,43	84,00	107,20	43,97	36,90	70,70	6,000	1,168
T10	30,67	20,53	20,93	71,03	6,13	29,86	-3,698	3,306
Media	49,39	44,20	58,66	54,66	38,07			
CV %	29,30	18,78	6,00	8,47	8,31			
CP1	1,444	1,986	5,129	-5,709	-2,850			
CP2	3,360	2,179	-2,377	2,097	-5,260			

Los genotipos T8, T9, T2, T1, T4 y T7 tuvieron en promedio un mayor número de tubérculos por planta, pues estuvieron por encima de la media general (48.99

tubérculos/planta, mientras los genotipos T3, T5, T6 y T10 tuvieron valores promedio, por debajo de la media general. El ambiente donde se presentó el mayor número de tubérculos por planta fue el ambiente de Costa de la estación Otoño – Verano (LM3), seguido del ambiente de Sierra HY1 (época apropiada de siembras), mientras el ambiente de Costa de verano (LM2) y el ambiente de Sierra adverso (época de heladas) HY2, presentaron promedio de tubérculos por planta por debajo de la media general. Los genotipos T1, T4, T5 y T6 fueron los genotipos con valores absolutos más bajos de la primera CP, que indican pequeñas interacciones y por ende pueden ser considerados como los más estables en la respuesta al número promedio de tubérculos por planta cuando fueron probados a través de los ambientes.

La figura 16 presenta el *biplot* que representa el número promedio de tubérculos por planta en función de las coordenadas del primer eje de CP1 de genotipos y ambientes. La línea vertical punteada representa el rendimiento promedio ( $x = 48.99$  tubérculos/planta), los ambientes han sido señalados por una línea vector de color azul y los genotipos como rombos de color rojo.



**Figura 16.** Doble representación gráfica del CP1 en función del número de tubérculos por planta de 10 genotipos de papa evaluados en 5 ambientes durante el periodo 2008 – 2010.

En el *biplot* los desplazamientos a lo largo de la abscisa, indican diferencias en efectos principales (aditivos) y desplazamientos a lo largo de la ordenada (eje Y) indican

efectos de interacción (Kempton, 1984); de esta manera se puede considerar que para la variable número promedio de tubérculos por planta los genotipos T1 y T4 no difieren mucho de efectos aditivos. En esta figura, los genotipos próximos tienen similar adaptación y ambientes próximos influyen en los genotipos de la misma manera, pero un genotipo próximo a un ambiente no necesariamente está mejor adaptado; de esa manera los genotipos T1 y T4 tienen similar adaptación.

Siguiendo la metodología de Crossa *et al.* (1990), los genotipos con coordenadas elevadas sobre la CP1 consideradas en valor absoluto, que contribuyeron en mayor medida a la interacción G x A fueron el T9, T6, T7 y T10, mientras que los ambientes que más aportaron fueron HY1 seguido de LM3. El más alto número de tubérculos por planta fue dado en el ambiente LM3 seguido del ambiente HY1; el promedio de número de tubérculos por planta más bajo fue hallado para los ambientes de Costa en Verano (LM2) y de Sierra realizado en época de heladas (HY2). Sobre estos dos últimos ambientes, es importante mencionar que en el primer ambiente las temperaturas diurnas de invernadero estuvieron por encima de 30° C en algunos meses de desarrollo del cultivo; bajo esta condición, Midmore (1988), manifestó que el número de tubérculos por planta disminuye cuando ocurren temperaturas altas, debido a su efecto directo sobre el proceso fotosintético, respiración y tasas de conversión de azúcares a almidones. Por otro lado, el ambiente HY2 dado en épocas de heladas, con temperaturas nocturnas menores a 5° C durante los primeros meses de desarrollo de cultivo, afectó notablemente la cantidad de tubérculo por planta obtenida.

#### **4.2.3 ANÁLISIS PARA EL PESO PROMEDIO DE TUBÉRCULO POR PLANTA.**

El análisis AMMI para la variable peso promedio de tubérculo se presenta en el cuadro 18.

**Cuadro 18. Análisis AMMI para el peso promedio de tubérculo en g de 10 genotipos de papa evaluados en 5 ambientes durante el periodo 2008-2010**

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados Medios	%SC
Modelo	149	2413,2		
Ambientes	4	580,99	145.24	**24,1%
Bloques (ambientes)	10	33,85	3.38	**1,4%
Genotipos	9	1250,36	138.92	**51,8%
Interacción G X A	36	482,90	13.41	**20,0%
CP1	12	289,29	24.85	** 59,9%
CP2	10	110,58	11.05	** 22,9%
CP3	8	47,30	5.91	** 9,8%
Residual	90	65,14	0,722	7%
CV %	10,3			
Media General	8,25			

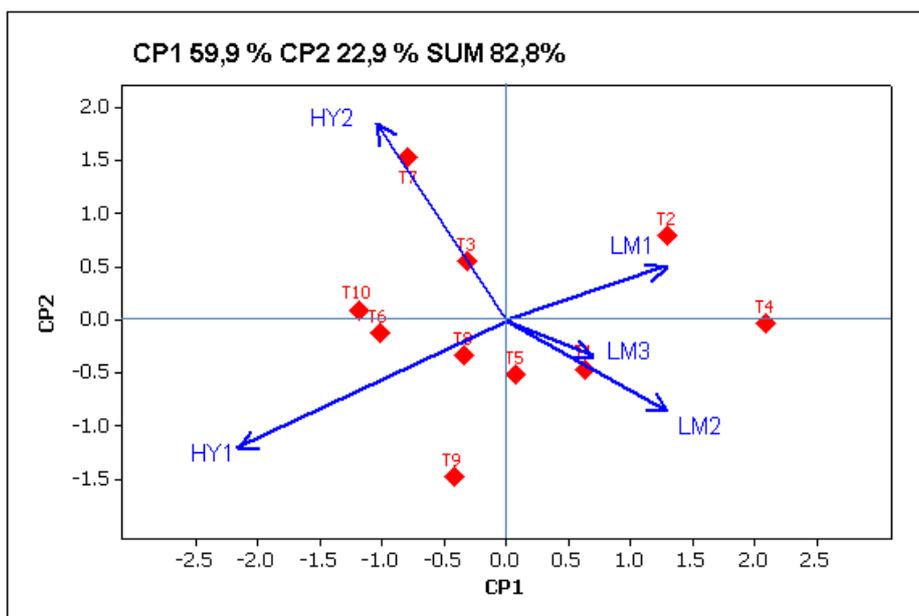
\*\* Significación de F al 0,01

Se detectaron diferencias altamente significativas para los efectos principales de genotipos, ambiente y para la interacción G x A; esto demuestra que los genotipos tuvieron un comportamiento diferencial en los ambientes aplicados al estudio.

El análisis AMMI para el peso promedio de tubérculos de los 10 genotipos evaluados en los 5 ambientes determinó que el 51,8% de la suma de cuadrados total fue atribuible a efectos genotípicos, mientras que los efectos ambientales y la interacción G x A fueron el 24,1% y 20%, respectivamente. Es posible apreciar como el mayor peso de la variación en el peso promedio de tubérculos estuvo concentrada por el efecto genotípico, debido a la amplia diversidad del material genético utilizado en la investigación. La magnitud de la suma de cuadrados de la interacción G x A fue casi 2.6 veces menor que la dada por el efecto genotípico y 1.2 veces menor que la suma de cuadrados dada por el ambiente.

Haciendo el análisis sobre la interacción G x A, se puede observar como los tres primeros componentes principales (CP1, CP2 y CP3) obtenidos resultaron ser altamente significativos (Cuadro 18). El primer eje del análisis de componentes de la interacción (CP1) explicó o capturó el 59.9 % de la suma de cuadrados de la interacción, y el segundo eje (CP2) el 22.9 %. Estos resultados demuestran que el efecto de la interacción G x A fue explicado en un 82.8 % por las dos primeras CP. Para una mejor interpretación, la figura

17 presenta una doble representación gráfica o *biplot*, considerando los efectos de las dos primeras CP para la interacción (CP1 versus CP2 del cuadro 17).



**Figura 17. Biplot del análisis AMMI para el peso promedio de tubérculo en g de 10 genotipos de papa evaluados en 5 ambientes durante el periodo 2008 – 2010.**

El *biplot* presentado en la figura 17 permite clasificar a los genotipos y ambientes en función de la interacción G x A. tiene 4 secciones dependiendo de los signos de los scores ambientales y genotípicos. Como consecuencia de esto, los genotipos y ambientes con valores de CP del mismo signo interactúan positivamente y el agrupamiento de los genotipos y los ambientes en el mismo cuadrante indica una asociación positiva entre ellos.

Los ambientes se ubican en dichas secciones, y están representados por una línea vector de color azul para mejorar su apreciación y los genotipos por rombos de color rojo. De esta manera, es posible observar como todos los ambientes ocasionaron en menor o mayor grado la interacción G x A. Los genotipos T7 y T3 tuvieron la mejor adaptación en el ambiente de Sierra HY2, el T1 se adaptó mejor a los ambientes de Costa LM2 y a LM3, el T9 tuvo una apropiada respuesta en el ambiente de Sierra HY1 y el T2 tuvo su mejor peso promedio de tubérculo en el ambiente de Costa LM1. Por otro lado los genotipos situados cerca al centro de la gráfica de doble representación o *biplot* fueron menos sensibles al cambio del ambiente; es así como los genotipos T5 y T8 fueron más estables en la respuesta del peso promedio de tubérculo cuando fueron probados en los 5 ambientes,

mientras los genotipos T2, T4, T7, T9 y T10 resultaron ser los que más aportaron a la interacción, pues se encontraron más alejados del centro del *biplot*.

Se presenta en el cuadro 19 el peso promedio de tubérculo para cada genotipo y cada ambiente, las medias genotípicas y ambientales, promediadas por filas y columnas, así como las coordenadas CP1 y el CP2 para genotipos y ambientes.

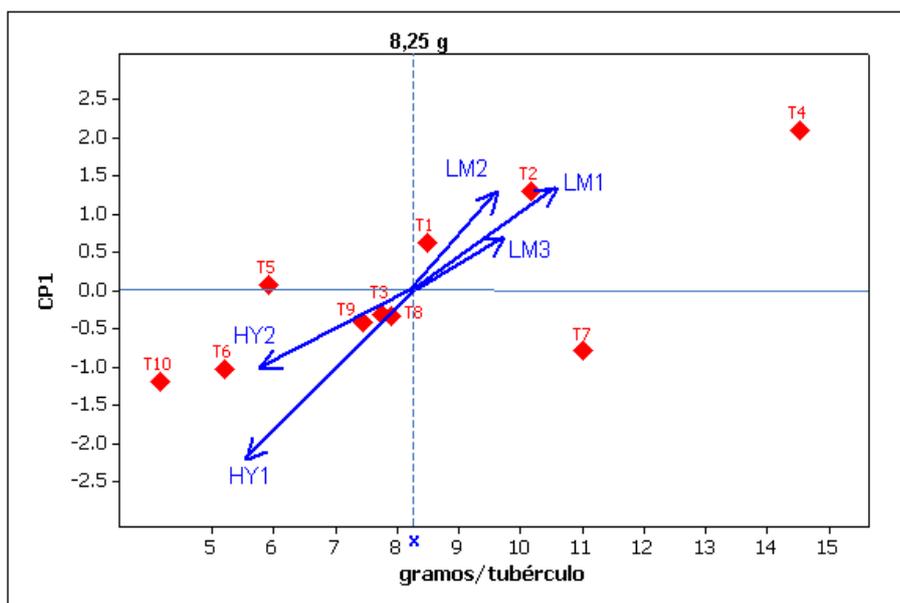
**Cuadro 19. Peso promedio de tubérculo en g de 10 genotipos de papa evaluados en 5 ambientes y valores de las coordenadas de los dos primeros componentes principales para genotipos y ambientes**

Genotipos	Ambientes					Media	CP1	CP2
	LM1	LM2	LM3	HY1	HY2			
T1	12,00	11,33	9,03	5,50	4,53	8,48	0,632	-0,466
T2	15,13	12,23	11,60	4,13	7,77	10,17	1,299	0,788
T3	9,70	7,57	9,50	5,30	6,70	7,75	-0,313	0,546
T4	19,13	18,57	17,50	7,37	10,00	14,51	2,089	-0,033
T5	7,87	6,73	8,83	3,87	2,30	5,92	0,077	-0,514
T6	6,63	4,00	6,70	5,40	3,23	5,19	-1,026	-0,129
T7	11,70	10,80	11,50	8,17	12,97	11,03	-0,797	1,532
T8	8,67	8,80	10,23	6,37	5,50	7,91	-0,340	-0,334
T9	7,40	10,43	8,63	7,47	3,27	7,44	-0,426	-1,479
T10	6,33	4,03	2,53	4,83	2,97	4,14	-1,195	0,090
Media	10,46	9,45	9,61	5,84	5,92			
CV %	13,04	8,93	6,78	5,41	12,14			
CP1	-2,234	-1,058	1,297	1,303	0,692			
CP2	-1,199	1,877	0,506	-0,867	-0,318			

Los genotipos T1, T4, T7 y T2 fueron los que presentaron un mayor peso promedio de tubérculo a lo largo de los ambientes de evaluación, ubicándose por encima de la media general (8.25 g) del experimento, mientras los demás genotipos estuvieron por debajo de la misma. Los genotipos T1, T3, T5 y T8 fueron los genotipos con valores absolutos más bajos en las dos CP, lo que indica pequeñas interacciones, por lo que podrían ser considerados como estables a través de los ambientes para la respuesta al peso promedio de tubérculo por planta, aunque solo el T1 estuvo por encima de la media general. Se puede apreciar que los tres ambientes de Costa tuvieron las mejores respuestas en cuanto al peso promedio de tubérculos, cuando se realizaron las cosechas escalonadas a intervalos de

tiempo de 15 a 20 días; en el ambiente LM1 sobre el mismo set de genotipos, el promedio de mini tubérculo cosechado fue de 10,46 g y, el más bajo en condiciones de Costa fue dado en el ambiente cálido de LM2 con un peso promedio de 9,45 g. La fuerza de absorción de foto-asimilados por parte de los tubérculos es afectada por la temperatura elevada; el grosor de la hoja disminuye y el contenido de clorofila por unidad de hoja tiene a ser menor a altas temperaturas y contribuye a disminuir las tasas fotosintéticas y su posterior distribución a los órganos demandantes de la planta (Midmore, 1988). De manera contraria, los ambientes de Sierra registraron pesos promedios de tubérculo por debajo de la media general; esto podría originar una recomendación relacionada a extender el tiempo entre las cosechas escalonadas, que permita un tamaño adecuado de la semilla final.

El *biplot* de la figura 18, presenta el rendimiento promedio en función de las coordenadas del primer eje de CP1 de genotipos y ambientes. La línea vertical punteada representa el rendimiento promedio ( $x = 8.25 \text{ g tubérculo}^{-1}$ ), los ambientes han sido señalados por una línea vector de color azul y los genotipos como rombos de color rojo.



**Figura 18.** Doble representación gráfica del CP1 en función del peso promedio de tubérculo de 10 genotipos de papa evaluados en 5 ambientes durante el periodo 2008 – 2010.

De acuerdo con la interpretación propuesta por Crossa *et al.* (1990), los genotipos con coordenadas elevadas sobre la CP1, consideradas en valor absoluto, que contribuyeron en mayor medida a la interacción G x A fueron el T4, T2 y T10, mientras que los ambientes que más aportaron a la interacción fueron el ambiente de Sierra HY1 seguido del

ambiente de Costa LM1. El más alto peso promedio de tubérculo se presentó en el ambiente de Costa LM1. Para los dos ambientes de Sierra se obtuvieron pesos promedio de tubérculo por debajo de la media general ( 8.25 g tubérculo<sup>-1</sup>), siendo el ambiente HY1 el que más afectó la respuesta de esta variable. De igual manera siguiendo las recomendaciones de interpretación de Yan *et al.* (2000), los ambientes de Costa LM1, LM2 y LM3 tienden a clasificar los genotipos de manera similar, así como los ambientes de Sierra HY1 y HY2, pero es posible puede apreciar de manera visual como los ambientes de Costa y Sierra los clasifican de manera opuesta, pues forman un ángulo aproximado entre ellos de 180°.

### 4.3 ANÁLISIS ECONÓMICO

#### 4.3.1 ANÁLISIS DE LA INVERSIÓN

##### 4.3.1.1 Inversiones o costos fijos

Los costos de inversión en la infraestructura de producción para el sistema aeropónico (Cuadro 20) empleado en esta investigación, incluye principalmente la construcción del invernadero y de la caseta de riego.

**Cuadro 20. Inversiones en infraestructura para la implementación de un módulo aeropónico de 80 m<sup>2</sup> (invernadero 5 x 16 m) para la producción de mini tubérculos de papa. Valores expresados en US \$ a Diciembre del 2009**

Item	Unidad	Cantidad	Valor	Valor	Vida Util (años)	Campañas al Año	Valor
			Unitario (US\$)	Total (US\$)			Campaña (US\$)
Invernadero	Unidad	1	4.719,71	4.719,71	7	1	674,24
Caseta de sistema de riego	Unidad	1	300,00	300,00	7	1	42,86
<b>Total</b>				<b>5.019,71</b>			<b>717,10</b>

De acuerdo con la información del cuadro 16, el mayor costo fue debido al invernadero (94 %), donde posteriormente se realizó la instalación del módulo aeropónico

de producción de mini-tubérculos, con un área de 80 m<sup>2</sup>. Otra estructura de menor valor, pero no menos importante, fue la caseta de riego, la cual representó el 6 % de la inversión total en infraestructura. Estos dos ítems, han sido llevados a 7 años de utilidad y amortizados a cada campaña de cultivo. Es importante mencionar que se seleccionó una campaña por año, debido a que en el ambiente de prueba de Huancayo, los genotipos alcanzaron en promedio hasta 8 meses de ciclo vegetativo.

Los subtotales de los costos relacionados con las inversiones directas de construcción del módulo aeropónico se presentan en el cuadro 21. Se puede apreciar que la necesidad de recursos para su implementación fue de US \$ 3.469,59. En el anexo 8 se presentan los detalles de las inversiones directas para la construcción del módulo aeropónico.

**Cuadro 21. Inversiones para la construcción de un módulo aeropónico para la producción de mini-tubérculos de papa en un invernadero de 80 m<sup>2</sup>. Valores expresados en US \$ a Diciembre del 2009**

Item	Valor Total (US\$)	Vida Util (años)	Valor	
			Campañas al Año	Campaña (US\$)
Contenedores de Cultivo	1.665,29	7	1	237,90
Sistema de Irrigación y Drenaje	345,26	7	1	49,32
Cabezal de Riego	1.019,04	7	1	145,58
Mano de Obra instalación	620,00	7	1	88,57
<b>Subtotal</b>	<b>3.649,59</b>			<b>521,37</b>

El subtotal de contenedores de cultivo representó el 46% de la inversión total para construcción del sistema aeropónico; los cuales fueron básicamente contruidos de madera, poliestereno expandido y elementos de ferretería para la instalación de 7 contenedores con dimensiones de 5 x 1 x 0.8 m. El área efectiva de siembra bajo invernadero fue de 49 m<sup>2</sup>, área en la cual, se sembraron 770 plántulas de papa.

Un segundo gasto importante fue el relacionado con el cabezal de riego, pues constituyó el 28 % de la inversión total; comprende los costos originados por la compra del equipo hidroneumático para mantener la presión de operación del sistema de riego, la electro bomba horizontal de presión constante, el tanque de agua con capacidad de 1.000

litros, el programador de riego y accesorios varios. La mano de obra que se contrató para la construcción e instalación de los contenedores y puesta a punto del sistema aeropónico fue el 17 % de la inversión directa total. Por otro lado, los costos relacionados con el sistema de conducción del agua y nutrientes, así como los de drenaje constituyeron el 9 %. Es importante mencionar que se proyectó una vida útil de 7 años para el módulo aeropónico, periodo empleado como base de cálculo para la depreciación por campaña. De acuerdo con Miragem *et al.* (1982), este concepto es debido al desgaste gradual del bien considerado y se calcula a través de su método directo o lineal, como el costo o valor inicial del bien sobre su vida útil.

En el cuadro 22 se encuentran detalladas las inversiones en la adquisición de equipos y materiales que fueron usados en el desarrollo del proyecto, principalmente para el manejo adecuado de la solución nutritiva, controles fitosanitarios dentro de invernadero y cosecha de mini-tubérculos. Se contempló llevar los equipos a una vida útil de 7 años, coincidiendo con el mismo tiempo de utilidad del módulo aeropónico.

**Cuadro 22. Inversiones en otros equipos y materiales para la producción de mini tubérculos de papa bajo un sistema aeropónico en un invernadero de 80 m<sup>2</sup>. Valores expresados en US \$ a Diciembre de 2009**

Item	Unidad	Cantidad	Valor	Valor	Vida Util (años)	Campañas al Año	Valor
			Unitario (US\$)	Total (US\$)			Campaña (US\$)
<b>Equipos</b>							
Medidor CE	Unidad	1	160,51	160,51	7	1	22,93
Medidor pH	Unidad	1	160,51	160,51	7	1	22,93
Termómetro	Unidad	1	12,00	12,00	7	1	1,71
Mochila fumigadora	Unidad	1	93,33	93,33	7	1	13,33
Pizeta plástica x 500ml	Unidad	1	8,14	8,14	7	1	1,16
<b>Subtotal</b>							<b>62,07</b>
<b>Materiales</b>							
Baldes	Unidad	1	5,10	5,10	7	1	0,73
Probetas graduadas	Unidad	1	20,00	20,00	7	1	2,86
Recipientes de plástico	Unidad	5	1,48	7,39	7	1	1,06
Manguera	Unidad	1	15,11	15,11	7	1	2,16

Uniformes	Unidad	3	14,87	44,61	7	1	6,37
Tijeras	Unidad	1	4,96	4,96	7	1	0,71
<b>Subtotal</b>							<b>13,88</b>
<b>Total</b>				<b>531,67</b>			<b>75,95</b>

#### 4.3.1.2 Costos operacionales o costos variables

Los gastos de operación que incluyeron insumos y elementos materiales de consumo directo en una campaña de producción, la estimación de los costos relacionados al diagnóstico de virus para la certificación de las semillas, mantenimiento de infraestructura y equipo, así como los costos necesarios de personal de apoyo técnico, son presentados en los cuadros 23, 24 y 25.

En cuadro 23 y 25, los coeficientes de ponderación no son más que una asignación en porcentaje relacionado con el uso de insumos y materiales en la campaña de producción; de esta manera, si un insumo es usado en su totalidad en dicha campaña, éste tiene un coeficiente de ponderación de 1, ósea, un 100%.

De acuerdo con el cuadro 23, se estimó que los costos de operación (detalle del cuadro en el anexo 9) del sistema aeropónico en materiales e insumos por campaña fue de US \$ 726,47; de este valor total el 23% está relacionado con el suministro de plántulas (770 para la siembra de 49 m<sup>2</sup> efectivos, el 20 % es debido a la compra de la solución nutritiva comercial y abonos foliares, el 13 % a elementos de manejo y el 12 % a insumos químicos para el control de los parámetros del agua de riego. Aunque el cultivo de papa se caracteriza por número importante de aplicaciones de productos fitosanitarios, en el ambiente protegido de la estación Santa Ana en Huancayo, este rubro representó solo el 2 % de los gastos operacionales.

Sobre el ítem de energía y agua, es resaltante que los dos representaron el 28 % de los gastos operacionales de la campaña. El sistema demandó un funcionamiento continuo de la bomba de riego para mantener la humedad en el ambiente radicular; con un tiempo programado de 3 minutos de riego cada 5 minutos, durante 24 horas, se estimó un trabajo diario de la bomba de 9,6 horas. Por otro lado el cambio del agua del tanque de manera

periódica con el objetivo de mantener el equilibrio iónico de la solución nutritiva, originó un consumo aproximado de 11.000 litros de agua para una campaña de 8 meses a razón de un consumo promedio de 46 L día<sup>-1</sup>.

**Cuadro 23. Costos de materiales e insumos para una campaña de producción de mini-tubérculos de papa bajo un sistema aeropónico en un invernadero de 80 m<sup>2</sup>. Valores expresados en US \$ a Diciembre de 2009**

<b>Item</b>	<b>Valor Total (US\$)</b>	<b>Coefficiente de Ponderación</b>	<b>Valor por campaña (US\$)</b>
Desinfección Ambientes	13,32	1	13,32
Plántulas de Papa	169,40	1	169,40
Solución Nutritiva	90,30	1	90,30
Fertilizantes Comerciales	143,01	1	143,01
Energía Eléctrica	169,20	1	169,20
Agua	33,00	1	33,00
Tratamiento Fitosanitario	15,10	1	15,10
Elementos de Manejo	93,14	1	93,14
<b>Total</b>	<b>726,47</b>		<b>726,47</b>

En el cuadro 24 se ha incluido una estimación de otros costos necesarios en la producción de semilla prebásica de papa bajo un sistema aeropónico; estos costos están referidos básicamente al diagnóstico de virus para verificar la sanidad de los materiales destinados a la producción de semillas, así como los análisis de calidad de agua de riego para el ajuste de la concentración de nutrientes. También se ha incluido en este cuadro, gastos que podrían ocasionarse por mantenimiento de equipos e infraestructura eventuales que deban hacerse para mantener la continuidad de la actividad de producción.

**Cuadro 24. Otros costos estimados para una campaña de producción de mini-tubérculos de papa bajo un sistema aeropónico en un invernadero de 80m<sup>2</sup>. Valores expresados en US \$ a Diciembre de 2009**

Item	Unidad	Cantidad	Valor	
			Unitario (US\$)	Total (US\$)
<b>Diagnóstico</b>				
Diagnóstico de Virus	Unidad	30	1,80	54,00
Diagnóstico de aguas	Unidad	1	15,00	15,00
<b>Subtotal</b>				<b>69,00</b>
<b>Mantenimiento</b>				
Mantenimiento de Equipo	Unidad	3	25,00	75,00
Mantenimiento de Infraestructura	Unidad	3	25,00	75,00
<b>Subtotal</b>				<b>150,00</b>
<b>Total</b>				<b>219,00</b>

Finalmente en el cuadro 25, se presenta el costo relacionado con la mano de obra de apoyo dentro del invernadero. Se han estimado dos valores relacionados con los costos de un responsable de la coordinación técnica de la producción, con una dedicación del 30 % de tiempo y un operario de campo tiempo completo para cubrir actividades directas de transplante, manejo de cultivo y cosecha dentro de invernadero.

**Cuadro 25. Costos de personal estimados para una campaña de producción de mini-tubérculos de papa bajo un sistema aeropónico en un invernadero de 80 m<sup>2</sup>. Valores expresados en US \$ a Diciembre de 2009**

Item	Cantidad	Valor		Coeficiente de Ponderación	Valor por campaña (US\$)
		Unitario (US\$)	Valor Total (US\$)		
Responsable coordinación	1	1000,00	1000,00	0,30	300,00
Operario o Auxiliar Técnico	1	280,00	280,00	1,00	280,00
<b>Total</b>			<b>1280,00</b>		<b>580,00</b>

### 4.3.2 COSTOS DE PRODUCCIÓN TOTAL Y RENTABILIDAD

El costo de producción por mini-tubérculo se calculó por un lado teniendo en cuenta los costos fijos depreciados en cada campaña, correspondiente a la infraestructura, módulo aeropónico, equipos y materiales y personal fijo, que representaron el 46 % de los costos totales de producción (Cuadro 26). Los costos variables de producción estuvieron relacionados con los gastos de insumos y materiales, análisis de diagnóstico, mantenimiento de equipo e infraestructura y personal de apoyo, representando el 54 % del costo total de producción.

**Cuadro 26. Costo de producción total de una campaña para la producción de mini-tubérculos de papa bajo un sistema aeropónico en un invernadero de 80 m<sup>2</sup>. Valores expresados en US \$ a Diciembre de 2009**

Detalle	Costo Inicial (US\$)	Costo Campaña (US\$)	%
<b>Costos Fijos</b>			
Inversion Infraestructura	5.019,71	717,10	55%
Inversion construcción módulo	3.649,59	521,37	40%
Inversión Equipos y Materiales	531,67	75,95	6%
<b>Subtotal Fijos</b>	<b>9.200,96</b>	<b>1.314,42</b>	<b>46%</b>
<b>Costos variables</b>			
Insumos y Materiales		726,47	48%
Diagnóstico		69,00	5%
Mantenimiento Equipo e Infraestructura		150,00	10%
Costo de Personal		580,00	38%
<b>Subtotal Variables</b>		<b>1.525,47</b>	<b>54%</b>
<b>Costo de Producción Total - CPT</b>		<b>2.839,89</b>	<b>100%</b>
<b>Producción de Mini-tubérculos</b>			
Número total de mini-tubérculos/campaña*		29.925	
<b>Costo Unitario de Minitubérculo</b>			
Costo producción por minitubérculo		\$ 0,095	
Costo de venta de minitubérculo		\$ 0,220	
<b>Ingreso Bruto</b>		<b>\$ 6.583,50</b>	
<b>Beneficio Neto - BN</b>		<b>\$ 3.743,61</b>	
<b>Rentabilidad ( %)</b>		<b>131,8</b>	

\* Incluye el 5% de pérdidas del total de la producción de mini-tubérculos

El costo de producción por campaña, tomando como base la experiencia llevada a cabo bajo condiciones de la estación experimental de Huancayo sería de US \$2.839,89. Si se tiene una proyección de 45 mini-tubérculos por planta de acuerdo a lo reportado con Otazú y Chuquillanqui (2007), la producción final de mini-tubérculos sería de 31.500 unidades (sin incluir un 5 % de pérdidas del total de la producción).

Asumiendo un precio de venta por unidad de mini-tubérculo de US \$ 0,22 de acuerdo con lo expuesto por Maldonado *et al.* (2007) y comercializando el volumen final de semilla con un 5% en pérdidas, el ingreso bruto sería de US \$ 6.583,50 por campaña.

El ingreso o beneficio neto logrado por cada campaña sería de US \$ 3.743,61 resultado de la diferencia entre el ingreso bruto y el costo de producción por campaña; el indicador de rentabilidad calculado es de 131,8 % que es un indicador que mide la eficiencia con que una empresa utiliza sus recursos financieros en una actividad productiva determinada.

Para esta experimentación, en el cuadro 27 se han estimado los ingresos brutos, netos y la rentabilidad sobre la base de venta de mini-tubérculo de US \$ 0.22, relacionado con los rendimientos de número de tubérculos por planta para tres tipos de rendimiento promedio dado a lo largo de los 5 ambientes de prueba: rendimiento bajo (genotipo T5 con 19.03 minis planta<sup>-1</sup>), rendimiento intermedio (genotipo T7 con 49.96 minis planta<sup>-1</sup>) y rendimiento alto (genotipo T8 con 83.82 minis planta<sup>-1</sup>).

**Cuadro 27. Ingresos brutos, beneficios netos y rentabilidad por campaña de tres genotipos con diferentes rendimientos de mini-tubérculos por planta bajo un sistema aeropónico en un invernadero de 80 m<sup>2</sup>. Valores expresados en US \$ a Diciembre de 2009**

	Rendimiento		
	Bajo	Intermedio	Alto
Mini-tubérculos planta <sup>-1</sup>	19,03	49,96	83,82
Costo Total de Producción - CTP (US\$)	2.839,89	2.839,89	2.839,89
Producción de Mini-tubérculos (pérdida del 5%)	12.655	33.223	55.740
Costo de Producción por mini-tubérculo (US\$)	0,22	0,09	0,05
Ingreso Bruto (US\$)	2.839,9	7.309,1	12.262,8
Beneficio Neto - BN (US\$)	0,0	4.469,2	9.422,9
Rentabilidad - R %	0,0	157,4	331,8

Del cuadro 27, es posible apreciar como para el genotipo de rendimiento promedio bajo, no hay beneficio neto ni rentabilidad en la actividad económica, cuando se tienen costos de producción por campaña de US \$ 2839,89 y costos de venta por mini-tubérculo de US \$ 0,22. Bajo esta estimación, se debería buscar bajar costos de asociados a la producción o buscar un precio de venta mayor por unidad de mini-tubérculo. Para el genotipo T7 considerado de rendimiento intermedio, es posible alcanzar beneficios netos de US \$ 4.469,62 por campaña y una rentabilidad cercana al 158 %. En el caso del genotipo T8, que presentó el rendimiento promedio más alto a través de todos los ambientes, el beneficio neto que se podría lograr, estaría alrededor de los US \$ 9.422,9 con rentabilidades cercanas al 332 %. Más adelante se se realiza un análisis de sensibilidad (ítem 4.4.4) que permite mostrar los diversos escenarios y los respectivos puntos de equilibrio en rendimiento y en precio de venta de mini-tubérculo para obtener una actividad económica rentable.

Los resultados acá mostrados. son más conservadores que los presentados por Maldonado *et al.* (2007), quienes reportaron beneficios netos de US \$ 11.263,01 y rentabilidades del 545,23 % cuando usaban un sistema aeropónico para la producción de semilla prebásica de papa; estos autores consideraban un rendimiento de 45 mini-tubérculos por planta pero con el doble de densidad de plantas por m<sup>2</sup> que el empleado en esta investigación.

Es importante resaltar dentro de los costos de producción del sistema aeropónico adaptado por el Centro Internacional de la Papa, que la inversión inicial puede ser medianamente alta; al hacer la estimación de los costos por campaña, estos son bajos notablemente, teniendo en cuenta que algunos equipos e infraestructuras se pueden amortizar a 7 o 10 años. De otro lado la producción de tuberculillos por planta en un sistema aeropónico depende como se ha visto en esta experimentación del cultivar y otros factores como el manejo y el ambiente, es posible asumir como lo han referenciado ya otros autores (Otazú y Chuquillanquí, 2007), que éste sistema puede ayudar a abaratar significativamente la producción de semilla de calidad de papa o hacer que un negocio en éste rubro sea rentable.

### 4.3.3 INDICADORES DE VIABILIDAD ECONÓMICA

Para el análisis de la viabilidad económica de inversión, se ha proyectado un flujo de caja de la actividad de producción de semillas en el sistema aeropónico tomando un periodo de tiempo de 7 años, el cual se presenta en el cuadro 28.

**Cuadro 28. Flujo de caja de inversión para la producción de mini-tubérculos de papa bajo un sistema aeropónico en un invernadero de 80 m<sup>2</sup>, en US \$ de Diciembre de 2009**

ITEM	Periodo en Años							
	0	1	2	3	4	5	6	7
<b>EGRESOS</b>	9.200,96	1.525,47	1.525,47	1.525,47	1.525,47	1.525,47	1.525,47	1.525,47
<b>1. Inversiones</b>								
Infraestructura inicial	5.019,71							
Sistema aeropónico	3.649,59							
Inversión equipo y mater.	531,67							
<b>Subtotal 1</b>	9.200,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>2. Gastos operacionales</b>								
Materiales e insumos		726,47	726,47	726,47	726,47	726,47	726,47	726,47
Diagnóstico		69,00	69,00	69,00	69,00	69,00	69,00	69,00
Mantenimientos		150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00
Costo operario		280,00	280,00	280,00	280,00	280,00	280,00	280,00
Costo coordinación		300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
<b>Subtotal 2</b>		1.525,47	1.525,47	1.525,47	1.525,47	1.525,47	1.525,47	1.525,47
<b>INGRESOS</b>	0,00	6.583,50	6.583,50	6.583,50	6.583,50	6.583,50	6.583,50	6.583,50
<b>FLUJO LÍQUIDO</b>	(9.200,96)	5.058,03	5.058,03	5.058,03	5.058,03	5.058,03	5.058,03	5.058,03
<b>FLUJO LÍQUIDO ACUMULADO</b>	(9.200,96)	(4.142,93)	915,10	5.973,13	11.031,16	16.089,19	21.147,22	26.205,25

En el flujo de caja presentado en el cuadro 28, los egresos se refieren a los valores relacionados con las inversiones del invernadero, la caseta de riego y la compra de equipos y materiales en el año 0 del proyecto y costos originados por la actividad de producción a partir del año 1. Los ingresos se refieren a la entrada de dinero por concepto de venta de

semilla, el cual fue calculado con un precio base de US \$ 0,22 por mini-tubérculo y un rendimiento de 45 mini-tubérculos por planta (Otazú y Chuquillanqui, 2007).

El análisis del flujo de caja, presenta una inversión inicial para el sistema aeropónico de US \$ 9.200,96 y para cada periodo o campaña de producción de mini-tubérculos, son necesarios US \$ 1.525,47. De acuerdo con los ingresos de US \$ 6.583,50, el flujo líquido o neto de la caja desde el primer año sería de US \$ 5.058,03. No se han considerando ajustes de los egresos debido a la necesidad e sustituir algunos materiales que se pueden deteriorar con el tiempo o ajustes por inflación cada año. Los valores en paréntesis, representan montos negativos en el flujo de caja.

La diferencia entre los ingresos y los egresos, representa el flujo líquido o neto de la actividad de producción, usado para los cálculos de la recuperación de capital (Payback), la tasa interna de retorno (TIR), el valor presente neto (VPN) y la relación beneficio-costos (B/C), cuyos indicadores son presentados en el cuadro 29.

El valor presente neto (VPN) convierte una corriente de ingresos y gastos futuros a sus valores actuales. Su principio fundamental es la incorporación del cálculo del valor temporal del dinero, es decir, a cuánto equivalen en el presente los posibles costos e ingresos que se espera obtener en el futuro, a una tasa de interés determinada. De esta manera, la técnica del VPN permite identificar el ingreso neto futuro en función de la pérdida de poder de compra de dichos ingresos, utilizando una tasa de interés específica que, por lo general, es el costo de oportunidad del capital, es decir el rendimiento del dinero si se utilizará en una actividad alternativa (Salas, 1984).

La TIR de un proyecto mide la rentabilidad promedio que genera el capital por periodo que permanece invertido (Vásquez et al., 2000). Este método considera que una inversión es aconsejable si la TIR resultante es igual o superior a la tasa exigida por el inversor. Por lo general, el costo de oportunidad del dinero utilizado es la tasa de interés de bancos en depósitos a plazo fijo, la cual en algunos países es de alrededor del 10%.

Los indicadores de viabilidad económica presentados en el cuadro 29 han sido calculados con un precio base de venta de mini-tubérculo de US \$ 0,22; se aprecia un valor positivo para el VPN y una TIR mayor al costo de oportunidad del inversor, que fue

considerado en este trabajo del 10%. De acuerdo con Salas (1984), un proyecto de inversión puede ser viable en aspectos económicos si el VPN es mayor que cero y tiene una TIR superior al costo de oportunidad del inversor.

**Cuadro 29. Indicadores de viabilidad económica para la producción de mini-tubérculos de papa bajo un sistema aeropónico en un invernadero de 80 m<sup>2</sup>, en US \$ de Diciembre de 2009**

Indicadores		
Valor Presente Neto (10%)	VPN	USD 39.624,41
Tasa Interna de Retorno	TIR	43,85%
Payback	Payback	1,63
Relación Costo/Beneficio	C/B	2,32

El *Payback* o periodo de recuperación del capital, es un indicador que calcula el número de años necesarios para recuperar la inversión inicial. Su interés radica solamente en el tiempo de recuperación de la misma, por tanto el criterio de decisión se basa en elegir el proyecto que recupere la inversión inicial en el menor tiempo (Vásquez *et al.*, 2000). Por otro lado, la relación beneficio/costo (B/C) es una razón que indica el retorno en dinero que se obtiene de cada unidad monetaria invertida. Esta razón se obtiene cuando el valor actual del flujo de beneficios, se divide por el valor actual del flujo de costos. El proyecto se considera recomendable, si la relación B/C es mayor que uno (Gittinger, J. 1987; Salas W. 1984).

El cuadro 29 de indicadores económicos, presenta un *Payback* de 1,63 años para el retorno de la inversión realizada y una relación beneficio/costo de 2,32 de la actividad productiva, usando un sistema aeropónico para la obtención de mini-tubérculos de papa.

#### 4.3.4 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Al hacer cualquier un análisis económico proyectado a futuro, siempre hay elementos de incertidumbre asociados a las alternativas que se estudian y es precisamente esa falta de certeza lo que hace que la toma de decisiones sea bastante difícil. Con el objeto de ilustrar la toma de decisiones, se efectuó un análisis de sensibilidad, para determinar si una variable determinada afecta el resultado económico del proyecto.

El análisis del cuadro 30, se ha tomado como medida de incertidumbre los siguientes escenarios: los rendimientos por planta para la producción de mini-tubérculos, asociados a respuestas genéticas y su posible interacción con el medio ambiente, así como también problemas de manejo; se seleccionaron los siguientes rendimientos esperados: 20, 25, 30 y 35 mini-tubérculos/planta. Por otro lado, se tomó un escenario de variación en el mercado de precios por mini-tubérculo de US \$ 0,10, 0,15 y 0,20 debido a una posible sobre oferta de semilla o de una inestabilidad de precios de la papa comercial (Ezeta, 2001).

**Cuadro 30. Análisis de sensibilidad de la viabilidad económica para la producción de mini-tubérculos de papa bajo un sistema aeropónico en un invernadero de 80 m<sup>2</sup>, en US \$ de Diciembre de 2009**

Indicadores Económicos				
Escenarios	VPN	TIR	Payback	B/C
Rendimiento				
20 minis/planta	-\$ 34.447,66	-	3,67	1,03
25 minis/planta	-\$ 16.090,08	-	2,93	1,29
30 minis/planta	\$ 56,40	5,63%	2,44	1,55
35 minis/planta	\$ 13.855,67	20,41%	2,09	1,80
Precio mini-tubérculo				
\$ 0,10	-\$ 32.627,98	-	3,58	1,05
\$ 0,15	\$ 2.356,39	7,86%	2,39	1,58
\$ 0,20	\$ 32.212,60	34,88%	1,79	2,11

Con los indicadores estimados del anterior cuadro y teniendo como primer escenario una variación en los rendimientos (manteniendo fijo el costo de venta de US \$

0,22), es posible apreciar valores negativos para el Valor Presente Neto (VPN) y ninguna Tasa Interna de Retorno (TIR), cuando se tienen menos de 25 mini-tubérculos por planta; los valores positivos en el análisis de sensibilidad propuesto, son logrados con el rendimiento estimado de 30 mini-tubérculos por planta. Para el segundo escenario referido a la variación de costos de la semilla (manteniendo fijo el rendimiento de 45 mini-tubérculos por planta), se muestra en el mismo cuadro, que por debajo de los US \$ 0,10 hay valores negativos de VPN y no hay TIR; por el contrario, con precios mayores a US \$ 0,15 se obtienen índices positivos y atractivos para cualquier inversionista interesado en la tecnología. El análisis realizado, ha presentado que tan sensibles fueron los dos escenarios y su impacto sobre los indicadores económicos para una correcta toma de decisiones.

## V. CONCLUSIONES

1. Se encontró una amplia respuesta del material genético cultivado en el sistema aerónico para la variable días a la tuberización. Bajo las condiciones de los diferentes ambientes, se puede asumir que no solo el componente genético, sino la temperatura y la intensidad del PAR fueron los factores que más incidieron en la respuesta final.
2. Se presentó un incremento en el ciclo vegetativo para todos los genotipos, en todos los ambientes de prueba. Se notó de manera especial, una mayor duración de días a la senescencia en el ambiente cálido de LM2 (Primavera – Invierno), asociada a la ocurrencia de temperaturas cálidas durante la fase de desarrollo del cultivo.
3. Hubo una alta variación en la respuesta de la altura final y peso seco de planta para todos los ambientes de prueba. Las temperaturas cálidas en los ambientes de Costa, ocasionaron incrementos significativos. De manera opuesta las bajas temperaturas de la zona radicular presentadas en el ambiente HY2 (Época seca), afectaron negativamente a las plantas, probablemente por su efecto en la disponibilidad, absorción y traslocación de nutrientes .
4. El índice de cosecha estuvo relacionado con el ambiente y con el genotipo; Yana Imilla (T10) presentó su índice más bajo en el ambiente cálido de LM2 (Primavera – Verano). Los materiales mejorados tuvieron valores de índice de cosecha intermedio y los mayores promedios (hasta 90%) fueron para los materiales avanzados (T3M T5 y T6) con mayor peso de *S. tuberosum*.
5. El rendimiento de tubérculos por planta fue mayormente atribuible al efecto genotípico; los 3 ambientes de Costa fueron mejores versus los ambientes de Sierra Venturana (T2) fue estable con un rendimiento promedio superior a la media general; los genotipos T3, T5 y T6 también mostraron ser estables, pero sus rendimientos estuvieron muy por debajo de la media general.

6. El número de tubérculos por planta fue afectado por el efecto genotípico. En los ambientes HY2 (época de heladas) y LM2 (Primavera - Invierno), los genotipos tuvieron los promedios mas bajos; el mejor ambiente para la producción de mini-tubérculos fue LM3 (Otoño – Primavera). Chucmarina (T1) resultó ser estable con un número de tubérculos superior a la media del experimento; los genotipos T3, T5 y T6 mostraron estabilidad en la respuesta, pero sus promedios estuvieron muy debajo de la media general.

7. El peso promedio de tubérculo estuvo explicado en su mayoría por el efecto genotípico; las mejores respuestas de esta variable se presentaron en los ambientes de Costa (LM1, LM2 y LM3), versus los ambientes de Sierra (HY1 y HY2). Los genotipos Chucmarina (T1), T5 y Tigoni (T9) fueron los más estables en todos los ambientes de prueba, pero solo el Chucmarina (T1) tuvo un promedio superior a la media general.

8. El análisis económico mostró que con una inversión aproximada de US \$ 9.000 y de operación de US \$ 1.526 por campaña, el sistema aeropónico como tecnología alternativa para la producción de semilla prebásica, puede ser factible con un invernadero de 80 m<sup>2</sup>, siempre y cuando se alcancen rendimientos superiores de 30 mini-tubérculos por planta, con un precio de venta de US \$0.22 por unidad de mini-tubérculo.

9. Con los costos estimados y de acuerdo con los indicadores de factibilidad económica calculados, los genotipos T3, T5 y T6 que mostraron ser estables a nivel productivo, ocasionan valores negativos en los indicadores económicos, pues sus promedios estuvieron por debajo del punto de equilibrio (cerca de 30 mini-tubérculos por planta) cuando el precio de venta es de US \$ 0.22 por unidad de mini-tubérculo.

## VI. RECOMENDACIONES

1. Es recomendable realizar pruebas del sistema aeropónico para la producción de semillas prebásicas de papa con variedades locales ya adaptadas a la zona de interés pues con esto se estaría trabajando con materiales conocidos y estables en cuanto a su variabilidad genotípica.
2. Se recomienda evaluar el efecto del tiempo entre cosechas para variedades locales, pues sería posible generar ajustes en los tiempos que permita lograr un tamaño de tubérculo más apropiado para su multiplicación en campo.
3. Se recomienda analizar la posibilidad de realizar al menos dos ciclos por año para los materiales precoces de especies *Solanum ssp tuberosum* que permita un incremento en el número de mini-tubérculos por planta y lograr así indicadores de factibilidad económica apropiados para la actividad productiva.
4. Finalmente es recomendable contar con el apoyo técnico especializado en aspectos de construcción, instalación y puesta a punto del sistema aeropónico, así como del manejo de cultivo para lograr el éxito en la actividad de producción de mini-tubérculos de papa.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- ACCIARESI, H. y CHIDICHIMO, H. 1999. Interacción genotipo – ambiente en *Avena sativa* L. utilizando los modelos de AMMI y Factorial de Correspondencias. En: Pesquisa Agropecuaria. Brasil. 34: 1823-1830
- AGUILUZ, A. 1998. Evaluación de híbridos de maíz (*Zea mays* L) de grano blanco y Amarillo en ambientes de Centro América, Panamá y El Caribe en 1996. En: Agronomía Mesoamericana. Costa Rica. 9 (1): 25-37
- ALLEN, E. J. y SCOTT, R.K. 1980. An analysis of growth of the potato crop. En: Journal of Agricultural Science. Cambridge. 94: 583-606
- ALMEKINDERS, C.J.M. y STRUIK, P.C. 1996. Review. Shoot development and flowering in potato (*Solanum tuberosum* L.). En: Potato Research, Wageningen. 39: 581-607
- BARRY, C. 1996. Nutrients-The handbook to hydroponic nutrient solutions. Casper, Australia. pp 33-43.
- BASU, P.S. y MINHAS, J.S. 1991. Heat tolerance and assimilate transport in different potato genotypes. En: Journal. Experimental Botany. 42: 861–866
- BODLAENDER, K. B. A. 1963. Influence of temperature, radiation and photoperiod on development and yield. En: The Growth of the Potato. London. pp. 199-210.
- BONIERBALE, M.; AMOROS, W.; ESPINOSA, J.; MIHOVILOVICH, E.; ROCA, W.; GOMEZ, R. 2004. Recursos genéticos de la papa: don del pasado, legado para el futuro. Suplemento Especial. En: Revista Latinoamericana de la Papa: pp 9-12

BRIEN, P.J.; ALLEN, E.J.; FIRMAN, D.M. 1998. A review of some studies on tuber initiation in potato (*Solanum tuberosum*) crops. En: Journal of Agricultural Science. Cambridge. 130: 251-270

BROWN, P.H. 2007. The canon of potato science: Stolonization, tuber induction and tuberization. En: Potato Research. 50: 363-365

CHANG, D.C.; SUNG, Y.K.; YOUNG, H.; KWAN, Y.S. 2000. Hydroponic culture system for the production of seed tubers without soil. En: American Journal of Potato Research. 77 (6): pp 394

CHAVEZ, J. 1993. Mejoramiento de plantas. Editorial Trillas. México. 136 p.

CHIL, C.D.; KIM, S.Y.; JEONG, J.C.; LEE, Y.B. 2001. Solution temperature effects on potato growth and mineral uptake in hydroponic System. En: Acta Horticultura. 548: 517-522

CHUQUILLANQUI, C.; TENORIO, J.; SALAZAR, L.F. 2007. Producción de Papa por Hidroponía. En: Alternativas al Uso del Bromuro de Metilo para la Producción de Semilla de Papa de Calidad. Centro Internacional de la Papa. Documento de Trabajo. Lima, Perú. 26 p.

CHRISTIE, C.B. y NICHOLS, M.A. 2004. Aeroponics: A Production system and research tool. En: Acta Horticultura. Wageningen. 648: 289-291.

COOPER, A.J. 1973. Root temperature and plant growth. Research Review N° 4. Commonwealth agricultural bureaux. England. 73 p.

CORSO, P.J. 2000. Semilla de Papa. En: Manejo Integrado del Cultivo de Papa. Manual Técnico. CORPOICA Regional Uno. Bogotá, Colombia. 72-85 p.

CROSSA, J.; GAUCH, H.G.; ZOBEL, R.W. 1990. Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. En: Crop Science 30: 493-500.

CUBERO, J.I. y FLORES, F. 1994. Métodos estadísticos. Para el estudio de la estabilidad varietal en ensayos agrícolas. Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca. Sevilla, España. 176 p.

DEVAUX, A; ORDINOLA, M; HIBON, A; FLORES, R. 2010. El sector papa en la región andina: Diagnóstico y elementos para una visión estratégica (Perú, Ecuador y Bolivia). Centro Internacional de la Papa. Lima, Perú. 385 p.

DURAN, J.; MARTÍNEZ, E.; NAVAS, L. 2000. Los cultivos sin suelo: de la hidroponía a la aeroponía. En: Vida Rural. No. 101 (en línea). Consultado 10 de abr. 2009, en [www.eumedia.es/articulos/ur/hortofrut/101cultivos.html](http://www.eumedia.es/articulos/ur/hortofrut/101cultivos.html).

ERREBHI, M.; ROSEN, C.J.; LAVER, F.I.; MARTIN, M.W.; BAMBERG, J.B. 1999. Evaluation of tuber – bearing species for nitrogen use efficiency and biomass partitioning. En: American Journal of Potato Research. 49: 151-163.

EWING, E. E. 1981. Heat stress and the tuberization stimulus. En: American Potato Journal. 58: 31-49

EWING, E.E. 1990. Induction of tuberization in potato. En: The Molecular and Cellular Biology of the Potato. Wallingford. 25-41 p.

EWING, E.E. 1997. Potato. En: The Physiology of Vegetable Crops. Cambridge - London. 295-344 p.

EWING, E.E. y STRUIK, P. C. 1992. Tuber formation in potato: induction, initiation, and growth. En: Horticultural Reviews. 14: 89-197.

EZETA, F. 2001. Producción de Semilla de Papa en Latinoamérica. En: Revista Latinoamericana de la Papa. v.12: p. 1-12.

EZETA, F.N. y MCCOLLUM, R.E. 1972. Dry matter production and nutrient uptake and removal by *Solanum andigena* in the Peruvian Andes. En: American Potato Journal. 49: 151-163

FARRAN, I. y MINGO-CASTEL, A.M. 2006. Potato minituber production using aeroponics: Effects of Plant density and harvesting intervals. En: American Journal of Potato Research. 83: 47-53.

FACTOR, T.L. 2007. Produção de minitubérculos de batata semente em sistemas hidroponicos NFT, DFT y Aeroponia. Tesis de grado, pHD en Agronomia. Universidad Estatal Paulista. Brasil.

FACTOR, T.L.; ARAÚJO, J.A.C. de. 2005. Aeroponia na produção de minitubérculos de batata semente pré-básica. En: Batata Show. Itapetininga, Brasil. 5(12):14

FAO. 2008. Año Internacional de la Papa (en línea). Consultado 10 abr. 2009, en: [www.potato2008.org](http://www.potato2008.org).

FAO. 2002. Genotype x Environment Interactions - Challenges and Opportunities for Plant Breeding and Cultivar Recommendations. En: Plant Production and Protection Paper. Roma, Italia. 174: 355

FREEMAN, G.H. 1973. Statistical methods for the analysis of genotype-environment interactions. Heredity. 31: 336-354

GABRIEL, K. R. 1971. The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. En: Biometrika. 58 (3): 453-467

GAUCH, H.G. 1992. Statistical analysis of regional yield trials: AMMI analysis of factorial designs. Amsterdam. Holanda. 278 p.

GAUCH, H. y R. ZOBEL. 1996. AMMI analysis of yield trials. In: M.S. Kang y H.G. Gauch (eds.). Genotype-by-Environment Interaction. CRC Press, Boca Ratón. 85-122 p.

GARCIA-MARTINEZ, J y GIL, J. 2002. Light Regulation of Gibberellin Biosynthesis and Mode of Action. En: Journal Plant Growth Regulation. 20: 354-368

GAWRONSKA, H.; DWELLE, R.B.; PAVEK, J.J.; ROWE, P. 1984. Partitioning of photoassimilates by four potato clones. En: Crop Science 24: 1031-1036

GITTINGER, J. 1982. Análisis económico de proyectos agrícolas. Segunda edición. Editorial Tecno S.A. Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento. Banco Mundial. Madrid, España. 532p

GONZALES, M.E.; ESTEVEZ, A.; CASTILLO J.G.; SALOMON, J.L.; VARELA, M., ORTIZ, U.; ORTIZ, E. 2003. Análisis de la estabilidad genotípica en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) mediante representaciones biplots. En: Cultivos Tropicales. 24 (1): 81-84

GREGORY, L.E. 1965. Physiology of tuberization in plants: (tubers and tuberous roots). Handbuch Pflanzenphysiol. 1328-1354 p.

HARTLEY, H. 1950. The maximum F-Ratio as a short-Cut test for heterogeneity of variance. En: Biometrika. 37: 308–312.

HAVERKORT, A.J. 1990. Ecology of potato cropping systems in relation to latitude and altitude. En: Agricultural Systems. 32: 251-272

HIDALGO, O. 1989. Progresos en la Producción de Tubérculos Semilla de Papa en Latinoamérica. En: Revista Latinoamericana de la Papa. 2: 1-28

HIDALGO, O.A.; MARZO, J.L.; PALOMINO L. 1999. Producción de semilla prebásica y básica usando métodos de multiplicación acelerada. En: Producción de tubérculos semilla de papa. Centro Internacional de la Papa. Manual de capacitación. Lima, Perú. Fasc. 4,3

INGRAM, K.T. y McLOUD, D.E. 1984. Simulation of potato crop growth and Development. En: Crop Science. 24: 21-27

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA INFORMATICA – INEI. 2009. Perú: compendio estadístico. Kinko's impresores SAC. Tomo 2. 689-1380 p.

JEFFERIES, R.A.; MACKERRON, D.K.L. 1989. Radiation interception and growth of irrigated and droughted potato (*Solanum tuberosum* ). En: Field Crop Research 22:101-112.

JENSEN, M. 2001. Controlled environment agriculture in deserts, tropics and temperate region- A World Review. College of agriculture and life Sciences (en línea). Consultado 10 abr. 2009, en [http://ag.arizona.edu/ceac/research/archive/ceawr\\_pe.htm](http://ag.arizona.edu/ceac/research/archive/ceawr_pe.htm)

KANG, J.G.; YANG, S.Y.; KIM, S.Y. 1996. Effects of nitrogen levels on the plant growth, tuberization and quality of potatoes grown in aeroponics. En: Journal of the Korean Society for Horticultural Science . 37: 761-766.

KEMPTON R.A., 1984. The use of biplots in interpreting variety by environment interactions. Journal of Agricultural Science. Cambridge 103, 123-135.

KHEDHER, M.B. y EWING, E.E. 1985. Growth analysis of eleven potato cultivars grown in the greenhouse under long photoperiods with and without heat stress. En: American Potato Journal. 62: 537-554

KOOMAN, P.L. 1995. Yielding ability of potato crop as influenced by temperature and daylength. Doctoral Thesis. Wageningen Agricultural University. Wageningen. Netherlands. 155 p.

KOOMAN, P.L.; FAHEM, M.; TEGERA, P.; HAVERKORT, A.J. 1996. Effects of climate on different potato genotypes: 2 Dry matter allocation and duration of the growth cycle. En: European Journal of Agronomy (5): 207-217.

LAFTA, A.M. y LORENZEN, J.H. 1995. Effect of high temperature on plant growth and carbohydrate metabolism in potato. En: Plant Physiology. 109: 637-643.

LESCAY, E. 2003. Interacción genotipo / ambiente y estabilidad del rendimiento de bulbos en cuatro variedades de cebolla (*Allium cepa* L.) ITEA. 99 (3): 5-16.

LEVY, D. y KEDAR, N. 1985. *Solanum tuberosum*. En: A.H.Halevy, Handbook of flowering. Volume IV. USA. 363-366 p.

LI, H.P. 1985. Potato Physiology. Academic Press, INC. University of Minnesota. USA. 586 p

LOMMEN, W.J.M. 1995. Basic studies on the production and performance of potato minitubers. Doctoral Thesis. Wageningen Agricultural University, Wageningen. Netherlands. 181 p.

MACKERRON, D.K.L. y HEILBRONN, T.D. 1985. A method for estimation harvest indices for use in surveys of potato crops. En: Potato Research. 28: 279-282

MALDONADO, L.; THIELE, G.; OTAZU, V. 2007. Análisis de costos entre el sistema convencional de producción de semilla de papa de calidad y el sistema de aeroponía. En: Alternativas al Uso del Bromuro de Metilo para la Producción de Semilla de Papa de Calidad. Centro Internacional de la Papa. Documento de Trabajo. Lima, Perú. 46 p.

MANRIQUE, L.A. y BARTHOLOMEW, D.P. 1991. Growth and yield performance of potato grown at three elevations in Hawaii: II. Dry matter production and efficiency of partitioning. En: Crop Science. 31: 367-372.

MATSUNAGA, M.; BEMELMANS, P.F.; TOLEDO, P.E.N.; DULLEY, R.D.; OKAWA, H.; PEDROSO, I.A. 1976. Metodologia de custo de produção utilizada pelo IEA. Agricultura em São Paulo, São Paulo, Brasil.. 23:123139.

MENZEL, C.M. 1984 The potato as a potential crop for the lowlands tropics. En: Tropical Agriculture (Trinidad). 61: 162-166.

MENZEL, C.M. 1985. Tuberization in potato at high temperatures: interaction between temperature and irradiance. En: Annals of Botany. 55: 35-39.

MIDMORE, D.J. 1988. Fisiología de la planta de papa bajo condiciones de clima cálido. Guía de Investigación N 24. Centro Internacional de la Papa . Lima, Perú. 15 p.

MIDMORE, D.J. 1992. Potato production in the tropics. En: The Potato Crop, 2da ed. London. 728-793 p.

MIRAGEM, S.; NADAL, F.; FUENTES, N.; PORTEIRO, J.; PIETRA, E.; SANCHEZ, B.; PLATERO, R. 1982. Guía para la elaboración de proyectos de desarrollo agropecuario. Serie desarrollo institucional, IICA. San José, Costa Rica. 382p

MONTEITH, J.L. 1969. Light interception and radiative exchange in crop stands. En: Physiological aspects of crop yield. American Society of Agronomy. Winsconsin. 89-111 p.

MONTESDEOCA, F. 2005. Guía para la producción, comercialización y uso de semilla de papa de calidad. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. Quito, Ecuador. 7 p.

MORENO, U. 1985. Environment effects on growth and development of potato plants. En: Potato Physiology. University of Minesota. Minesota, USA. 482-500 p.

MORGAN, L. 1998. Solution Dynamics. En: Practical Hydroponics and Greenhouses. (43): 56-69

MURO, J.; DÍAZ, V.; GONI, J.L.; LAMSFUS, C. 1997. Comparasion of hydroponic culture and culture in a peat/sand mixture and the influence of nutriente solution and plant density on seed potato yields. En: Potato Research, 40: 431-438.

NICHOLS, M.A. 2005. Aeroponics and potatoes. En: Acta Horticulturae, Wageningen. v. 670: p. 201-206.

NUGALIYADDE, M.M.; DE SILVA, H.D.M.; PERERA, R.; ARIYARATNA, D.; SANGAKKARA, U.R. 2005. An aeroponic system for the production of pre-basic seeds of potato. En : Annals of the Sri Lanka Department of Agriculture. 7: 199-208.

OTAZU, V. y CHUQUILLANQUI, C. 2007. Producción de Papa de Calidad por Aeroponia. En: Alternativas al Uso del Bromuro de Metilo para la Producción de Semilla

de Papa de Calidad. Centro Internacional de la Papa. Documento de Trabajo. Lima, Perú. 35 p.

PAPADOPOULUS, A.P. y TIESSEN, H. 1987. Root and air temperature effects on the elemental composition of tomato. Journal American Society. Horticultural Science. 112 (6): 988-993.

PEREIRA, A.S. DA. y DANIELS, J. 2003. O cultivo da batata na Região Sul do Brasil. EMBRAPA. Brasilia, Brasil. 419 p.

POZO, C. M. 1997. Tuberización, tamaño de la semilla y corte de tubérculos. Fasc 2,3. Centro Internacional de la Papa. Lima, Perú. 19 p

RANALLI, P. 1997. Innovative propagation methods in seed tuber multiplication programmes. En: Potato Research. 40 (4): 439-453.

RAJWADE, V.B.; BANAFAR, R.N.S.; PATHAK, A.C. 2000. Growth analysis of potato in relation to biodinamic package and organic manures with chemical fertilizers. Journal Indian Potato Association. 27(1/2): 55-58

R DEVELOPMENT CORE TEAM. 2009. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.

RELLOSO, J.B.; PASCUALENA, J.; RITTER, E. 2000. Sistema aeropónico en la producción de patata de siembra de categoría prebase. En: PASCUALENA, J.; RITTER, E. (Ed.). Libro de Actas del Congreso Iberoamericano de Investigación y Desarrollo en Patata. Vitoria, España. 285-297 p.

RESH, H.M. 2001. Cultivos Hidropónicos: Nuevas Técnicas de Producción. 5ta. edición. Ediciones Mundi Prensa. España. 560 p.

RITTER, E.; ANGULO, B.; RIGA, P.; HERRÁN, J.; RELLOSO, J.; SAN JOSE, M. 2001. Comparison of hydroponic and aeroponic cultivation systems for the production of potato minitubers. En: Potato Research. 44: 127-135

RODRIGUEZ, A; CHANG, M; HOYOS, M.; FALCON, F. 2004. Manual Práctico de Hidroponía. Cuarta edición. Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. Peru.

ROLOT, J.L.; SEUTIN, H.1999. Soilless production of potato minitubers using a hydroponic technique. En: Potato Research. 42: 457-469.

SALAS, J. 1995. Producción de Semilla Pre-básica de Papa. En: Foniap Divulga (en línea). Volumen 48. Consultado 10 abr. 2009, en: [www.ceniap.gov.ve/pbd/RevistasTécnicas/FonaiapDivulga/fd48/texto/prodpapa.htm](http://www.ceniap.gov.ve/pbd/RevistasTécnicas/FonaiapDivulga/fd48/texto/prodpapa.htm).

SALAS, W. 1984. Factibilidad de los proyectos agropecuarios. Editorial tecnológica de Costa Rica. Segunda Edición. Costa Rica. 244p

SAS Institute Inc. 2005. SAS® 9.1 Integration Technologies: Developer's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.

SHAPIRO, S. S. y WILK, M. B. 1965.. An analysis of variance test for normality (complete samples). En: Biometrika. 52 (3 y 4): 591-611

SOFFER, H. ; BURGER D.W.1988. Effects of dissolved oxygen concentration in aeroponics on the formation and growth of adventitious roots. En: Journal American Society Horticultural Science. 113: 218-221.

SPITTERS, C.J.T. 1987. An analysis of variation in yield among potato cultivars in terms of light absorption, light utilization and dry matter partitioning. En: Acta Horticulturae. 214: 71-84.

STEWART, F.C.; MORENO, U. ; ROCA, W.M. 1981. Growth, form, and composition of potato plants as affected by environment. En: Annals of Botany. 48 (Supl.2): 1-45.

STRUIK, P.C. 1986 Effects of shading during different stages of growth on development, yield and tuber size distribution of *Solanum tuberosum* L. En: American Potato Journal. 63: 457 (Abstract)

STRUIK, P.C. y EWING, E.E. 1995. Crop physiology of potato (*Solanum tuberosum*): responses to photoperiod and temperature relevant to crop modeling. En: Potato ecology and modeling of crops under conditions limiting growth. 19-40 p.

STRUIK, P.C. y WIERSEMA, S.G. 1999. Several ways to multiply potato. En: Seed Potato Technology. Wageningen, Netherlands. 175-216 p.

TADESSE, M.; LOMMEN, W.J.M.; STRUIK, P.C. 2001. Development of micropropagated potato plants over three phases of growth as affected by temperature in different phases. En: Netherlands Journal of Agricultural Science. v.49: p. 53-66

THOMSON, N.J. y CUNNINGHAM, R.B. 1979. Genotype environment interactions and evaluations of cotton cultivars. En: Australian Journal of Agriculture Research. 105-112 p.

THORTON, M.K.; MALIK, N.J.; DWELLE, R.B. 1996. Relationship between leaf gas exchange characteristics and productivity of potato clones grown at different temperatures. En: American Potato Journal. 73: 63-77.

VAN DAM, J.; COMAN, P.L. STRUIK, P.C. 1996. Effects of temperatura and photoperiod on early growth and final number of tubers in potato (*Solanum tuberosum* L.) En: Potato Research. 39: 51-62

VÁSQUEZ, E. ; ARAMBURÚ, E.; FIGUEROA, C.; PARODI, C.; 2002. Gerencia Social: Diseño, monitoreo y evaluación de proyectos sociales. Centro de Investigación de la Universidad del Pacífico. Perú, Lima. 290p

VEGA, S; BAMBERG, J; PALTA, J. 2006. Gibberellin-Deficient Dwarfs in Potato Vary in Exogenous GA<sub>3</sub> Response When the *ga<sub>1</sub>* Allele Is in Different Genetic Backgrounds. En: American Journal of Potato Research. 83: 357-363.

VICTORIO, R.C.; MORENO, U.; BLACK JR, C.C. 1986. Growth, partitioning and harvest index of tuber-bearing *Solanum* genotypes grown in two contrasting environments. En: *Plant Physiology*. 82: 103-108

WAN, W.; CAO, W.; TIBBITTS, T.W. 1994. Tuber initiation in hidroponically grown potatoes by alteration of solution pH. En: *HortScience*. (29): 621-623.

WELLENSIEK, S.J. 1967. La planta y su medio ambiente. En: *Control del Medio Ambiente de la Planta*. Barcelona, España. 19-34 p.

WHEELER, R.M.; MACKOWIAK, J.C.S.; KNOTT, W.M.; HINKLE, R. 1990. Potato Growth and yield using nutrient filme technique (NFT). En: *American Potato Journal*. 67: 177-187.

WOLF, S.; MARANI, A.; RUDICH, J. 1990. Effect of temperature and photoperiod on assimilate partitioning in potato plants. En: *Annals of Botany*. 66: 513-520.

YAN, W.; HUNT, L.A.; SHENG, Q.; SZLAVNICS, Z. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. En: *Crop Science*. 40: 597-605.

YAN, W.; HUNT, L.A. 2001. Interpretation of Genotype x Environment Interaction for Winter Wheat Yield in Ontario. En: *Crop Science*. 41: 19-25.

ZOBEL, R., M. WRIGHT.; H. GAUCH. 1988. Statistical analysis of a yield trial. En: *Agronomy Journal*. 80 (3): 388-397.

ZOSIMO, H. 1994. Potato Descriptor for a Minimum Characterization of Potato Collection. Centro Internacional de la Papa. Lima, Perú. 40-48 p.

## **VIII. ANEXOS**

Anexo 1. Promedios cada 10 días de la variables climáticas para los diferentes ambientes de evaluación.

<b>Datos meteorológicos promedio para el ambiente LM1</b>									
Mes	Día	Temperatura Invernadero (°C)			HR %	PAR $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Temperatura Cajón (°C)		
		MAX	MED	MIN			MAX	MED	MIN
Mes 1	10	21,66	17,45	15,72	80,08	100,79	20,52	19,19	18,08
	20	21,76	17,72	15,64	79,79	106,72	19,29	18,01	17,10
	30	24,44	19,26	16,56	84,41	138,33	21,03	19,50	18,26
Mes 2	10	23,99	18,02	15,40	75,78	163,04	20,19	18,39	17,14
	20	25,44	18,33	15,32	71,47	216,41	22,96	19,55	17,55
	30	29,48	21,41	17,56	74,26	262,41	26,50	23,30	20,96
Mes 3	10	23,37	17,96	15,48	75,83	184,78	20,33	18,54	17,06
	20	22,58	16,70	13,81	64,81	197,62	17,42	16,04	15,03
	30	25,91	20,13	17,40	81,37	185,78	21,08	19,68	18,37
Mes 4	10	25,15	19,33	16,54	73,59	184,79	18,16	16,29	13,69
	20	26,92	20,52	17,18	69,21	231,23	18,09	15,58	12,86
	30	26,76	20,96	17,67	69,18	193,68	17,90	15,14	12,58
Mes 5	10	25,50	20,83	17,90	71,94	134,37	17,62	15,29	12,74
	20	26,83	21,65	18,37	68,91	269,77	18,78	16,02	13,30
	30	30,44	24,37	20,15	73,22	303,37	19,96	17,12	14,11
Mes 6	10	28,62	23,12	19,52	68,96	226,29	18,81	15,24	12,24
	20	28,03	23,12	20,11	70,10	209,49	18,01	15,35	13,14
	30	32,01	26,19	22,14	73,13	259,91	20,68	17,49	14,78
Mes 7	10	29,66	24,56	20,97	64,71	245,06	23,94	18,98	15,99
	20	30,84	25,10	21,59	62,75	335,00	19,25	15,23	13,69
	30	29,71	24,46	21,19	65,89	363,15	17,00	15,17	13,88
Mes 8	10	29,91	24,42	20,92	66,21	348,82	17,11	15,34	13,96
	20	30,28	24,95	21,46	61,72	371,53	17,29	15,42	14,18
	30	33,77	27,46	23,29	66,62	390,31	20,79	17,55	15,97

<b>Datos meteorológicos promedio para el ambiente LM2</b>									
Mes	Día	Temperatura Invernadero (°C)			HR %	PAR $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Temperatura Cajón (°C)		
		MAX	MED	MIN			MAX	MED	MIN
Mes 1	10	25,15	19,33	16,54	73,59	184,79	18,16	16,29	13,69
	20	26,92	20,52	17,18	69,21	231,23	18,09	15,58	12,86
	30	26,76	20,96	17,67	69,18	193,68	17,90	15,14	12,58
Mes 2	10	25,50	20,83	17,90	71,94	134,37	17,62	15,29	12,74
	20	26,83	21,65	18,37	68,91	269,77	18,78	16,02	13,30
	30	30,44	24,37	20,15	73,22	303,37	19,96	17,12	14,11
Mes 3	10	28,62	23,12	19,52	68,96	226,29	18,81	15,24	12,24
	20	28,03	23,12	20,11	70,10	209,49	18,01	15,35	13,14
	30	32,01	26,19	22,14	73,13	259,91	20,68	17,49	14,78
Mes 4	10	29,66	24,56	20,97	64,71	245,06	23,94	18,98	15,99
	20	30,84	25,10	21,59	62,75	335,00	19,25	15,23	13,69
	30	29,71	24,46	21,19	65,89	363,15	17,00	15,17	13,88
Mes 5	10	29,91	24,42	20,92	66,21	348,82	17,11	15,34	13,96
	20	30,28	24,95	21,46	61,72	371,53	17,29	15,42	14,18
	30	33,77	27,46	23,29	66,62	390,31	20,79	17,55	15,97
Mes 6	10	29,96	24,11	20,65	59,61	310,26	16,88	14,81	13,09
	20	29,58	23,54	19,28	62,19	307,31	16,89	13,31	12,22
	30	32,04	25,52	21,07	69,70	310,28	18,40	16,09	14,35
Mes 7	10	27,72	22,14	18,21	66,83	251,00	17,58	14,85	12,66
	20	25,66	20,11	16,83	72,22	193,66	17,74	15,06	12,82
	30	24,04	17,84	14,71	66,21	160,09	16,29	13,81	11,64
Mes 8	10	24,28	17,87	15,48	79,34	260,86	22,59	15,84	12,98
	20	25,44	18,48	15,03	75,10	303,34	21,75	14,28	13,09
	30	24,90	18,69	16,28	74,87	254,94	18,76	16,33	14,08
Mes 9	10	26,31	19,45	16,66	71,96	370,55	33,08	17,73	17,55
	20	23,64	18,72	16,74	77,41	229,26	23,12	15,63	12,66
	30	23,71	19,02	16,92	88,31	208,50	19,72	17,65	16,65
Mes 10	10	24,50	17,77	15,10	74,87	408,11	18,10	16,25	14,06
	20	23,28	17,29	14,92	77,71	378,46	17,78	15,91	13,58
	30	29,68	20,55	16,32	77,14	635,38	19,59	17,12	14,65

**Datos meteorológicos promedio para el ambiente LM3**

Mes	Día	Temperatura Invernadero (°C)			HR %	PAR $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Temperatura Cajón (°C)		
		MAX	MED	MIN			MAX	MED	MIN
Mes 1	10	29,96	24,11	20,65	59,61	310,26	16,88	14,81	13,09
	20	29,58	23,54	19,28	62,19	307,31	16,89	13,31	12,22
	30	32,04	25,52	21,07	69,70	310,28	18,40	16,09	14,35
Mes 2	10	27,72	22,14	18,21	66,83	251,00	17,58	14,85	12,66
	20	25,66	20,11	16,83	72,22	193,66	17,74	15,06	12,82
	30	24,04	17,84	14,71	66,21	160,09	16,29	13,81	11,64
Mes 3	10	24,28	17,87	15,48	79,34	260,86	22,59	15,84	12,98
	20	25,44	18,48	15,03	75,10	303,34	21,75	14,28	13,09
	30	24,90	18,69	16,28	74,87	254,94	18,76	16,33	14,08
Mes 4	10	26,31	19,45	16,66	71,96	370,55	33,08	17,73	17,55
	20	23,64	18,72	16,74	77,41	229,26	23,12	15,63	12,66
	30	23,71	19,02	16,92	88,31	208,50	19,72	17,65	16,65
Mes 5	10	24,50	17,77	15,10	74,87	408,11	18,10	16,25	14,06
	20	23,28	17,29	14,92	77,71	378,46	17,78	15,91	13,58
	30	29,68	20,55	16,32	77,14	635,38	19,59	17,12	14,65
Mes 6	10	25,14	18,41	15,60	73,51	390,33	17,83	15,63	13,21
	20	25,15	18,10	14,96	73,98	435,76	18,29	15,65	13,41
	30	27,42	19,80	16,58	84,33	479,81	28,76	20,54	16,44
Mes 7	10	27,76	19,05	15,24	70,69	579,06	17,48	15,22	13,17
	20	28,57	19,63	15,72	69,75	557,32	19,00	15,96	13,08
	30	31,01	21,74	17,52	75,79	614,63	18,74	14,91	13,59
Mes 8	10	23,80	18,40	15,69	69,06	474,32	21,47	17,10	13,89
	20	28,36	20,49	16,61	67,84	486,17	17,96	15,35	12,98
	30	28,27	21,17	17,66	69,81	402,18	17,74	15,21	12,98
Mes 9	10	26,82	20,59	17,70	74,72	359,68	18,04	15,56	13,22
	20	29,35	22,05	18,08	68,41	447,63	23,61	18,37	13,94
	30	30,52	24,66	21,20	78,47	328,08	19,26	16,28	14,63
Mes 10	10	29,72	23,21	19,81	72,42	353,76	17,94	15,60	14,03
	20	29,91	23,82	20,51	71,93	323,14	18,20	15,17	14,18
	30	37,84	28,51	23,24	68,92	506,92	20,75	18,38	16,68

**Datos meteorológicos promedio para el ambiente HY1**

Mes	Día	Temperatura Invernadero (°C)			HR %	PAR $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Temperatura Cajón (°C)		
		MAX	MED	MIN			MAX	MED	MIN
Mes 1	10	31,32	16,15	7,97	57,92	371,05	21,21	17,67	13,53
	20	29,89	15,88	7,35	55,63	247,09	20,99	17,17	13,50
	30	32,43	18,12	9,36	62,64	222,00	23,93	19,33	15,65
Mes 2	10	28,00	14,76	7,66	66,15	193,59	20,22	16,27	13,49
	20	25,78	14,38	8,21	67,77	166,73	19,44	16,02	13,42
	30	29,14	16,01	8,70	70,92	159,35	22,04	18,07	15,14
Mes 3	10	25,15	14,89	8,75	65,54	148,23	20,07	16,76	14,30
	20	24,57	14,55	9,11	69,37	135,44	19,39	16,54	14,27
	30	23,97	13,80	8,93	73,13	130,96	18,83	15,91	13,82
Mes 4	10	22,85	13,64	8,09	71,56	120,60	18,31	15,44	12,91
	20	23,79	13,63	6,93	66,26	134,79	18,22	15,14	12,51
	30	25,31	15,21	9,17	79,47	165,34	19,33	16,43	14,02
Mes 5	10	23,16	13,10	7,17	69,99	138,96	17,64	14,22	11,57
	20	23,01	13,41	7,25	67,89	133,34	17,70	14,78	12,35
	30	30,71	16,89	8,18	66,54	169,72	22,47	17,89	14,18
Mes 6	10	25,96	13,67	5,31	60,30	153,35	19,75	14,54	10,21
	20	25,12	13,99	6,24	61,74	152,65	19,66	14,79	10,73
	30	28,88	15,28	5,81	64,68	186,40	22,25	16,12	10,84
Mes 7	10	26,96	13,18	3,42	54,08	175,86	20,45	13,84	8,36
	20	26,32	12,91	3,05	52,07	166,61	19,74	13,46	7,93
	30	29,39	15,12	5,33	62,97	152,83	22,08	15,65	10,46
Mes 8	10	27,19	13,63	4,01	54,36	128,61	19,23	13,57	8,90
	20	27,02	13,11	3,92	58,08	116,07	19,42	13,80	9,10
	30	31,35	15,01	3,88	58,58	188,57	21,82	15,62	10,11
Mes 9	10	31,31	14,46	3,69	51,90	209,24	20,10	15,29	10,86
	20	30,59	14,72	5,08	56,98	208,46	19,50	15,58	12,20
	30	35,20	17,14	5,34	56,52	226,85	22,54	17,66	13,35

**Datos meteorológicos promedio para el ambiente HY2**

Mes	Día	Temperatura Invernadero (°C)			HR %	PAR $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Temperatura Cajón (°C)		
		MAX	MED	MIN			MAX	MED	MIN
Mes 1	10	25,96	13,67	5,31	60,30	153,35	19,75	14,54	10,21
	20	25,12	13,99	6,24	61,74	152,65	19,66	14,79	10,73
	30	28,88	15,28	5,81	64,68	186,40	22,25	16,12	10,84
Mes 2	10	26,96	13,18	3,42	54,08	175,86	20,45	13,84	8,36
	20	26,32	12,91	3,05	52,07	166,61	19,74	13,46	7,93
	30	29,39	15,12	5,33	62,97	152,83	22,08	15,65	10,46
Mes 3	10	27,19	13,63	4,01	54,36	128,61	19,23	13,57	8,90
	20	27,02	13,11	3,92	58,08	116,07	19,42	13,80	9,10
	30	31,35	15,01	3,88	58,58	188,57	21,82	15,62	10,11
Mes 4	10	31,31	14,46	3,69	51,90	209,24	20,10	15,29	10,86
	20	30,59	14,72	5,08	56,98	208,46	19,50	15,58	12,20
	30	35,20	17,14	5,34	56,52	226,85	22,54	17,66	13,35
Mes 5	10	32,08	15,38	5,07	51,85	194,36	20,08	16,00	12,11
	20	31,16	15,05	5,58	58,08	193,19	19,78	15,71	12,30
	30	30,62	16,69	6,98	59,25	188,84	21,36	17,96	14,39
Mes 6	10	29,93	15,05	5,00	52,44	175,44	19,89	16,04	12,12
	20	29,71	15,32	6,23	56,65	178,58	20,06	16,36	12,98
	30	29,91	16,59	8,18	65,63	179,27	21,11	17,87	14,93
Mes 7	10	30,87	16,36	5,60	45,52	159,83	20,93	16,77	12,73
	20	26,84	15,45	8,95	64,05	161,51	19,20	16,71	14,58
	30	29,26	17,01	10,63	78,45	165,60	20,99	18,30	15,94
Mes 8	10	26,89	15,48	8,93	67,23	164,25	19,43	16,82	14,47
	20	28,87	14,97	7,60	64,55	174,97	19,35	16,05	13,42
	30	28,68	16,18	9,69	75,56	158,91	20,30	17,57	15,09
Mes 9	10	25,24	14,85	8,58	70,42	131,73	18,74	16,13	13,88
	20	27,09	15,59	9,15	67,97	147,18	19,24	16,52	14,34
	30	28,95	16,37	8,86	73,40	167,21	21,42	17,59	14,46
Mes 10	10	28,63	16,00	8,69	64,18	180,63	22,37	15,64	11,41
	20	27,69	15,54	8,74	67,62	220,89	23,82	15,13	11,18
	30	24,82	15,07	9,47	70,87	164,84	22,44	14,74	11,64

Anexo 2. Preparación de la Formula Hidropónica La Molina ®

<b>Solución Concentrada A: (para 5.0 litros de agua, volumen final)</b>	<b>Pesos en g</b>
Nitrato de potasio	550.0 g
Nitrato de amonio	350.0 g
Superfosfato triple	180.0 g

<b>Solución Concentrada B: (para 2.0 litros de agua, volumen final)</b>	<b>Pesos</b>
Sulfato de magnesio	220.0 g
Quelato de hierro 6% Fe	17.0 g
Solución de Micronutrientes	400 ml

<b>Solución Micronutrientes: (para 1.0 litro de AGUA DESTILADA o</b>	<b>Pesos</b>
Sulfato de Manganeso	5.0 g
Ácido Bórico	3.0 g
Sulfato de Zinc	1.7 g
Sulfato de Cobre	1.0 g
Molibdato de Amonio	0.2 g

Anexo 3. Cuadro de ocurrencia de plagas y enfermedades en los ambientes de evaluación y control fitosanitario realizado

Ambientes	Fechas	Plagas y Enfermedades	Control	
A1	Sep05/08	Oidium ( <i>Oidium sp</i> )	Topas 100 EC	1 cc/litro
A1	Sep25/08	Polilla ( <i>Tuta absoluta</i> )	Trampeo (luz y agua enjabonada)	
A1	Nov27/08	Oidium ( <i>Oidium sp</i> )	Topas 100 EC	0,5 00/litro
A1-A2	Dic 09/08	Polilla ( <i>Tuta absoluta</i> )	Trampeo (luz y agua enjabonada)	
A2	Dic15/08	Mosca Minadora ( <i>Liriomiza spp.</i> )	Vermitec 1.8 EC	1 cc/litro
A1-A2	Dic 22/08	Acaro hialino ( <i>Polyphagotarsonemus latus</i> )	Vermitec 1.8 EC	0,5 cc/litro
A2	Ene12/08	Mosquilla de los brotes ( <i>Prodiplosis spp.</i> )	Confidor 350 SC	1 cc/litro
A1-A2	Ene13/09	Acaro hialino ( <i>Polyphagotarsonemus latus</i> )	Confidor 350 SC	1 cc/litro
A1-A2	Ene13/09	Polilla ( <i>Tuta absoluta</i> )	Rimon 10 EC	1 cc/litro
A1-A2	Ene14/09	Polilla ( <i>Tuta absoluta</i> )	Trampeo (luz y agua enjabonada)	
A1-A2	Ene16/09	Acaro hialino ( <i>Polyphagotarsonemus latus</i> )	Confidor 350 SC	1 cc/litro
A1-A2	Ene20/09	Acaro hialino ( <i>Polyphagotarsonemus latus</i> )	Confidor 350 SC	1 cc/litro
A1-A2	Ene20/09	Polilla ( <i>Tuta absoluta</i> )	Rimon 10 EC	1 cc/litro
A1-A2	Ene23/09	Mosquilla de los brotes ( <i>Prodiplosis spp.</i> )	Regent SC	1 cc/litro
A1-A2	Ene23/09	Polilla ( <i>Tuta absoluta</i> )	Sunfire 240 SC	1 cc/litro
A1-A2	Ene29/09	Acaro hialino ( <i>Polyphagotarsonemus latus</i> )	Vermitec 1.8 EC	1 cc/litro
A1-A2	Ene29/09	Mosquilla de los brotes ( <i>Prodiplosis spp.</i> )	Confidor 350 SC	1 cc/litro
A4	Feb20/09	Oidium ( <i>Oidium sp</i> )	Topas 100 EC	1 cc/litro
A2	Mar13/09	Arañita roja ( <i>Tetranychus spp</i> )	Vermitec 1.8 EC	1 cc/litro
A2	Mar18/09	Oidium ( <i>Oidium sp</i> )	Topas 100 EC	1 cc/litro
A4	Abr16/09	Polilla ( <i>Phthorimeae operculella</i> )	Decis 5 EC	0,5 cc/litro
A4	Jul10/09	Polilla ( <i>Phthorimeae operculella</i> )	Decis 5 EC	0,5 cc/litro
A2	Jun16/09	Acaro hialino ( <i>Polyphagotarsonemus latus</i> )	Vermitec 1.8 EC	1 cc/litro
A2	Jun19/09	Acaro hialino ( <i>Polyphagotarsonemus latus</i> )	Vermitec 1.8 EC	1 cc/litro
A2-A3	Jul27/09	Acaro hialino ( <i>Polyphagotarsonemus latus</i> )	Vermitec 1.8 EC	1 cc/litro
A4-A5	Ago09/09	Polilla ( <i>Phthorimeae operculella</i> )	Sorba 050 EC	1,5 cc/litro
		Mosca blanca ( <i>Bemisia tabaci</i> biotipo B y		
A2-A3	Ago18/09	<i>Trialeurodes vaporariorum</i> )	Applaud	1,5 cc/litro
		Mosca blanca ( <i>Bemisia tabaci</i> biotipo B y		
A2-A3	Ago18/09	<i>Trialeurodes vaporariorum</i> )	Confidor 35 SC	1,5 cc/litro
		Mosca blanca ( <i>Bemisia tabaci</i> biotipo B y		
A2-A3	Ago24/09	<i>Trialeurodes vaporariorum</i> )	Applaud	1,5 gr/litro
A2-A3	Ago24/09	Oidium ( <i>Oidium sp</i> )	Topas 100 EC	1 cc/litro
		Mosca blanca ( <i>Bemisia tabaci</i> biotipo B y		
A2-A3	Ago31/09	<i>Trialeurodes vaporariorum</i> )	Applaud	1,5 gr/litro
		Mosca blanca ( <i>Bemisia tabaci</i> biotipo B y		
A2-A3	Ago31/09	<i>Trialeurodes vaporariorum</i> )	Confidor 35 SC	1,5 cc/litro
A3	Sep11/09	Acaro hialino ( <i>Polyphagotarsonemus latus</i> )	Vermitec 1.8 EC	1 cc/litro
A3	Sep16/09	Oidium ( <i>Oidium sp</i> )	Topas 100 EC	1 cc/litro
A4-A5	Oct16/09	Polilla ( <i>Phthorimeae operculella</i> )	Sunfire 240 SC	1 cc/litro
		Mosca blanca ( <i>Bemisia tabaci</i> biotipo B y		
A3	Nov30/09	<i>Trialeurodes vaporariorum</i> )	Applaud	1,5 gr/litro
		Mosca blanca ( <i>Bemisia tabaci</i> biotipo B y		
A3	Nov30/09	<i>Trialeurodes vaporariorum</i> )	Provado Combi	1,5 cc/litro
A5	Oct 30/09	Polilla ( <i>Phthorimeae operculella</i> )	Sunfire 240 SC	1,5 cc/litro
		Mosca blanca ( <i>Bemisia tabaci</i> biotipo B y		
A3	Dic 01/09	<i>Trialeurodes vaporariorum</i> )	Applaud	1,5 gr/litro
A5	Ene 07/10	Oidium ( <i>Oidium sp</i> )	Topas 100 EC	1,5 cc/litro

Anexo 4. ANVA combinado para cada una de las variables de interés;  
descomposición de la variabilidad correspondiente a Genotipo y a la  
interacción GxA

Días a la tuberización - Dtub					
Fuente	GL	SC	CM	F test	pvalue
Ambientes	2	5566,8667	2783,4333	524,2858	4,262E-36 **
Genotipos	9	25104,011	2789,3346	525,39736	2,965E-49 **
Prec	5	17960,759	3592,1519	676,61553	2,19E-47 **
Tard	3	3324,5556	1108,1852	208,73709	1,122E-29 **
Prec-Tard	1	3818,6963	3818,6963	719,2873	6,891E-33 **
GxA	18	10577,356	587,63086	110,68579	4,575E-36 **
PrecxA	10	7021,2963	702,12963	132,25271	2,873E-34 **
TardxA	6	2582,4444	430,40741	81,071277	3,245E-25 **
Prec-TardxA	2	973,61481	486,80741	91,694746	4,337E-18 **
Error	54	286,73333	5,3098765		

Días a la senescencia - Dsenesc					
Fuente	GL	SC	CM	F test	pvalue
Ambientes	3	75901,158	25300,386	6989,0569	1,173E-88 **
Genotipos	9	50442,208	5604,6898	1548,2569	1,153E-78 **
Prec	5	38108,111	7621,6222	2105,4205	1,524E-76 **
Tard	3	8529,8958	2843,2986	785,44161	6,632E-55 **
Prec-Tard	1	3804,2014	3804,2014	1050,8844	1,091E-44 **
GxA	27	38237,092	1416,1886	391,21231	1E-67 **
PrecxA	15	23070,889	1538,0593	424,87825	6,625E-64 **
TardxA	9	9268,6875	1029,8542	284,4901	1,457E-52 **
Prec-TardxA	3	5897,5153	1965,8384	543,04929	2,417E-49 **
Error	72	261,2	3,6277778		

Altura de planta - Alt					
Fuente	GL	SC	CM	F test	pvalue
Ambientes	3	656521,76	218840,59	10216,647	1,414E-94 **
Genotipos	9	415096,37	46121,819	2153,2128	8,506E-84 **
Prec	5	260039,02	52007,804	2428,002	9,309E-79 **
Tard	3	92357,886	30785,962	1437,2531	3,882E-64 **
Prec-Tard	1	62699,468	62699,468	2927,146	4,666E-60 **
GxA	27	163760,8	6065,2149	283,15662	1E-62 **
PrecxA	15	91671,053	6111,4036	285,31296	8,85E-58 **
TardxA	9	53956,107	5995,123	279,88436	2,575E-52 **
Prec-TardxA	3	18133,642	6044,5472	282,19175	1,023E-39 **
Error	72	1542,565	21,424514		

**Peso seco de tubérculo - PStb**

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F test</b>	<b>pvalue</b>	
Ambientes	4	107484,57	26871,143	143,58078	3,427E-38	**
Genotipos	9	308469,42	34274,38	183,13855	7,101E-54	**
Prec	5	223899,53	44779,906	239,27281	2,225E-50	**
Tard	3	76232,129	25410,71	135,77724	2,705E-33	**
Prec-Tard	1	8337,7596	8337,7596	44,551213	1,975E-09	**
GxA	36	130589,94	3627,4983	19,382839	3,955E-29	**
PrecxA	20	51255,546	2562,7773	13,693707	2,197E-19	**
TardxA	12	51305,758	4275,4798	22,845204	2,564E-22	**
Prec-TardxA	4	28028,635	7007,1587	37,441404	2,063E-18	**
Error	90	16843,811	187,15346			

**Peso seco de planta - PSP**

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F test</b>	<b>pvalue</b>	
Ambientes	2	29063,803	14531,902	1330,7602	1,15E-46	**
Genotipos	9	41364,188	4596,0209	420,88103	1,086E-46	**
Prec	5	30220,904	6044,1808	553,49641	4,492E-45	**
Tard	3	10339,499	3446,4997	315,61353	3,367E-34	**
Prec-Tard	1	803,7848	803,7848	73,606667	1,158E-11	**
GxA	18	46039,599	2557,7555	234,22669	1,208E-44	**
PrecxA	10	3654,0556	365,40556	33,462048	1,275E-19	**
TardxA	6	34685,931	5780,9885	529,39456	4,161E-46	**
Prec-TardxA	2	7699,6121	3849,8061	352,54634	1,015E-31	**
Error	54	589,7341	10,921002			

**Peso seco total - PST**

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F test</b>	<b>pvalue</b>	
Ambientes	4	281978,21	70494,553	324,56937	1,458E-52	**
Genotipos	9	558070,97	62007,885	285,49526	3,703E-62	**
Prec	5	397208,86	79441,772	365,76395	3,53E-58	**
Tard	3	140244,98	46748,326	215,23755	6,223E-41	**
Prec-Tard	1	20617,131	20617,131	94,924912	9,776E-16	**
				0		
GxA	36	304467,3	8457,425	38,939479	3,497E-41	**
PrecxA	20	121408,43	6070,4215	27,949293	3,519E-30	**
TardxA	12	119160,49	9930,0404	45,71966	5,111E-33	**
Prec-TardxA	4	63898,385	15974,596	73,549863	1,533E-27	**
Error	90	19547,471	217,19412			

Índice de cosecha - IC

Fuente	GL	SC	CM	F test	pvalue
Ambientes	3	0,0933292	0,0311097	23,20582	1,29E-10 **
Genotipos	9	0,2718408	0,0302045	22,530611	1,221E-17 **
Prec	5	0,0770444	0,0154089	11,494024	3,562E-08 **
Tard	3	0,1507729	0,0502576	37,488915	1,053E-14 **
Prec-Tard	1	0,0440235	0,0440235	32,838634	2,173E-07 **
GxA	27	0,3963625	0,0146801	10,95039	3,132E-16 **
PrecxA	15	0,1834333	0,0122289	9,121952	2,089E-11 **
TardxA	9	0,1436354	0,0159595	11,904737	2,941E-11 **
Prec-TardxA	3	0,0692937	0,0230979	17,229537	1,562E-08 **
Error	72	0,0965267	0,0013406		

Anexo 5. Análisis de varianza simple de las variables de interés por cada ambiente de estudio

Variable D tub						
FV	G.L.	LM1	LM2	LM3	HY1	HY2
		CM				
Bloques	2	40,83 **	61,63 **	0,01	26,13 **	53,33 **
Tratamientos	9	394,29 **	1465,02 **	1977,87 **	1592,42 **	28,14 **
Error	18	3,57	0,30	9,26	3,10	0,37
Total	29					
CV %		4,26	1,51	7,70	3,03	3,51

Variable D senesc						
FV	G.L.	LM1	LM2	LM3	HY1	HY2
		CM				
Bloques	2	43,20 **	38,53 **	36,3 **	124,03 **	100,83 **
Tratamientos	9	3811,33**	997,46 **	2395,26 **	2649,18 **	9918,30 **
Error	18	5,35	2,31	2,15	4,70	1,06
Total	29					
CV %		1,08	0,55	0,66	1,02	0,46

Variable Alt						
FV	G.L.	LM1	LM2	LM3	HY1	HY2
		CM				
Bloques	2	25,27	14,70	3,23	160,03	5,63
Tratamientos	9	31517,08 **	14374,01 **	5711,12 **	13461,70 **	12716,52 **
Error	18	8,61	17,18	39,71	210,77	20,19
Total	29					
CV %		1,06	2,25	3,63	9,08	6,73

Variable PSTb						
FV	G.L.	LM1	LM2	LM3	HY1	HY2
		CM				
Bloques	2	21,78	747,97	103,17	158,40	632,39
Tratamientos	9	15845,39 **	12594,76 **	11998,35 **	2573,77 **	5772,08 **
Error	18	84,86	305,13	200,02	143,49	202,27
Total	29					
CV %		7,05	19,86	14,00	18,28	30,89

Variable PSP						
FV	G.L.	LM1	LM2	LM3	HY1	HY2
		CM				
Bloques	2	11,56	13,54 **	68,80 **	3,04	1,70
Tratamientos	9	7722,78 **	370,02 **	1722,50 **	266,23 **	555,52 **
Error	18	7,83	2,02	7,05	17,88	1,40
Total	29					
CV %		4,55	6,75	9,06	21,87	11,65

Variable IC						
FV	G.L.	LM1	LM2	LM3	HY1	HY2
		CM				
Bloques	2	0,000023	0,000760	0,004643	0,000213	0,005251
Tratamientos	9	0,018186 **	0,031703 **	0,017235 **	0,005259 **	0,018981 **
Error	18	0,000278	0,000997	0,001498	0,001305	0,001383
Total	29					
CV %		2,39	4,10	4,98	4,71	4,46

Variable Rend						
FV	G.L.	LM1	LM2	LM3	HY1	HY2
		CM				
Bloques	2	107087,46 *	16215,70	2726,89	505,23	114,35
Tratamientos	9	330939,56 **	416449,76 **	464308,67 **	68326,63 **	197026,06 **
Error	18	27049,58	12476,83	2912,94	725,05	574,53
Total	29					
CV %		30,14	22,89	9,04	8,32	8,99

Variable NT						
FV	G.L.	LM1	LM2	LM3	HY1	HY2
		CM				
Bloques	2	438,40	102,92	24,67	16,04	8,02
Tratamientos	9	1360,95 **	1663,60 **	3122,57 **	1470,35 **	2971,07 **
Error	18	209,48	68,93	12,43	21,44	10,02
Total	29					
CV %		29,30	18,78	6,00	8,47	8,31

Variable PPT						
FV	G.L.	LM1	LM2	LM3	HY1	HY2
		CM				
Bloques	2	14,77	1,1590	0,8083	0,0040	0,1143
Tratamientos	9	50,84 **	55,86 **	43,54 **	6,36 **	36,16 **
Error	18	1,86	0,7127	0,4243	0,0999	0,5173
Total	29					
CV %		13,04	8,93	6,78	5,41	12,14

D tub	Días a la tuberización
D senesc	Días a la senescencia total
Alt	Altura de planta en cm
PSTb	Peso seco de tubérculos en g planta <sup>-1</sup>
PSP	Peso seco de planta en g planta <sup>-1</sup>
IC	Índice de cosecha en %
Rend	Rendimiento en g planta <sup>-1</sup>
NT	Número de tubérculos/planta
PPT	Peso promedio de tubérculos en g

\*\* Significación de F al 0,01; \* Significación de F al 0,05

Anexo 6. Cuadro de comparación de medias entre tratamientos por ambiente de estudio

Ambiente	Tratamiento <sup>x</sup>	D tub	D muert	Alt	PSTb	PSP	IC	Rend	NT	PPT
LM1	1	38,3 b	235,3 a	337,80 c	225,74 a	146,53 a	60,33 d	860,23 ab	71,70 ab	12,00 bc
	2	41,3 b	238,3 a	369,10 a	172,10 bc	94,55 b	64,33 c	739,03 ab	49,27 abc	15,13 b
	3	24,0 d	162,7 c	295,33 d	33,00 d	18,69 ef	64,00 c	233,87 cd	23,77 c	9,70 cde
	4	43,3 b	235,3 a	357,17 ab	197,85 ab	138,57 a	58,67 d	1153,17 a	60,23 abc	19,13 a
	5	31,7 c	162,7 c	106,57 f	32,23 d	7,65 g	80,67 a	184,70 d	22,87 c	7,87 de
	6	41,3 b	163,3 c	92,43 g	49,36 d	11,92 fg	81,33 a	210,37 cd	30,40 bc	6,63 e
	7	58,3 a	240,3 a	352,10 b	146,95 c	53,82 d	73,33 b	687,70 abc	56,20 abc	11,70 bcd
	8	53,3 a	240,0 a	332,77 c	155,77 c	58,01 cd	72,67 b	567,70 bcd	67,37 ab	8,67 cde
	9	58,3 a	239,0 a	293,33 d	157,41 c	63,76 c	71,00 b	620,80 bcd	81,43 a	7,40 e
	10	53,3 a	224,0 b	217,80 e	56,86 d	21,01 e	73,00 b	197,57 d	30,67 bc	6,33 e
	CV%	4,26	1,08	1,06	7,05	4,55	2,39	30,14	29,30	13,04
	Media	44,3	214,1	275,40	122,72	61,45	69,86	545,51	49,39	10,45
LM2	1	24,0 e	275,3 b	181,00 c	108,68 c	31,37 ab	76,33 bcd	655,10 bc	50,17 b	11,33 b
	2	28,7 d	291,3 a	192,33 c	131,36 bc	29,69 b	81,33 abc	708,63 bc	57,63 b	12,23 b
	3	23,3 e	251,3 d	119,00 d	23,93 d	11,11 de	73,00 d	126,80 d	16,90 d	7,57 d
	4	28,3 d	293,3 a	190,00 c	194,42 a	31,01 ab	87,00 a	1137,30 a	61,30 ab	18,57 a
	5	19,0 f	251,3 d	119,00 d	18,81 d	7,89 e	70,33 d	100,60 d	15,00 d	6,73 d
	6	19,0 f	260,7 c	58,67 e	20,35 d	3,58 f	86,00 ab	103,57 d	24,87 cd	4,00 e
	7	78,3 a	291,3 a	282,33 a	101,77 c	34,94 a	74,67 cd	528,13 c	48,87 bc	10,80 bc
	8	23,3 e	275,3 b	271,00 a	104,82 c	24,33 c	80,33 abc	558,37 bc	62,77 ab	8,80 cd
	9	43,3 c	291,3 a	210,67 b	158,98 ab	22,34 c	87,67 a	877,93 ab	84,00 a	10,43 cb
	10	73,3 b	251,3 d	214,00 b	16,07 d	14,19 d	53,33 e	82,77 d	20,53 d	4,03 e
	CV%	1,51	0,55	2,25	19,86	6,75	4,10	22,89	18,78	8,93
	Media	36,06	273,26	183,80	87,91	21,04	77,00	487,92	44,20	9,45
LM3	1	16,7 d	218,67 c	187,00 c	114,25 c	14,61 e	88,33 ab	636,13 c	70,47 b	9,03 c
	2	53,3 b	253,00 a	189,33 c	138,45 bc	31,39 c	81,67 abc	842,90 b	72,50 b	11,60 b
	3	16,7 d	172,00 d	158,33 d	49,68 d	11,89 ef	80,33 bc	239,10 d	25,40 de	9,50 c
	4	16,7 d	230,67 b	210,67 b	187,81 a	44,81 b	80,33 bc	1144,10 a	65,40 ab	17,50 a
	5	16,7 d	230,67 b	113,33 ef	54,07 d	5,47 f	90,67 a	308,67 d	34,87 d	8,83 c
	6	16,7 d	230,00 b	108,67 f	52,70 d	17,79 de	73,67 cd	321,50 d	47,97 c	6,70 d
	7	73,3 a	230,67 b	204,00 b	62,16 d	26,35 cd	69,67 d	362,57 d	31,43 d	11,50 b
	8	68,3 a	230,00 b	225,00 a	186,66 a	67,86 a	73,33 cd	1130,53 a	110,47 a	10,23 bc
	9	73,3 a	251,33 a	210,00 b	153,10 ab	68,89 a	68,67 d	926,17 b	107,20 a	8,63 c
	10	43,3 c	172,00 d	125,00 e	10,72 e	4,00 f	72,67 cd	52,47 e	20,93 e	2,53 e
	CV%	7,70	0,66	3,63	14,00	9,06	4,98	9,04	6,00	6,78
	Media	39,5	221,9	173,13	100,96	29,30	77,93	596,41	58,66	9,60
HY1	1	68,7 bc	224,0 b	137,33 d	92,73 a	20,05 bc	82,33 ab	353,47 b	65,13 bc	5,50 bc
	2	74,7 a	236,7 a	243,33 a	66,90 ab	23,19 bc	74,00 bc	319,63 bc	77,60 ab	4,13 de
	3	53,3 d	225,0 b	144,67 d	48,99 bc	16,37 c	74,67 abc	242,23 c	45,70 d	5,30 c
	4	68,3 c	237,7 a	154,67 d	93,39 a	17,62 c	84,33 a	459,10 a	61,80 c	7,37 a
	5	16,0 e	161,3 d	44,67 e	13,74 c	4,69 d	73,33 bc	65,70 d	17,03 e	3,87 e
	6	15,7 e	161,3 d	62,33 e	21,69 c	7,44 d	75,00 abc	115,80 d	21,43 e	5,40 c
	7	73,3 abc	189,7 c	229,67 ab	84,05 ab	28,84 ab	74,67 abc	506,13 a	62,07 c	8,17 a
	8	68,3 b	234,3 a	219,67 ab	94,03 a	37,30 a	71,33 c	511,27 a	80,87 a	6,37 b
	9	73,7 ab	224,0 b	164,00 cd	61,71 ab	17,90 c	77,33 abc	310,30 bc	43,97 d	7,47 a
	10	68,7 bc	221,7 b	197,33 bc	78,05 ab	19,95 bc	79,67 abc	349,77 b	71,03 abc	4,83 cd
	CV%	3,03	1,02	9,08	18,28	21,87	4,71	8,32	8,47	5,41
	Media	58,06	211,56	159,76	65,52	19,33	76,66	323,34	54,66	5,84
HY2	1	16,0 b	218,3 c	30,33 e	36,38 def	3,98 de	90,00 ab	193,70 d	42,90 cd	4,53 ef
	2	16,0 b	298,3 a	141,67 b	100,93 ab	37,33 a	72,67 de	610,73 a	78,90 b	7,77 c
	3	16,7 b	168,7 d	35,33 e	19,60 def	4,44 de	81,33 bcd	128,10 de	19,17 e	6,70 cd
	4	26,0 a	260,7 b	36,33 e	48,50 cd	2,29 ef	95,00 a	368,37 c	36,87 d	10,00 b
	5	16,0 b	158,3 e	15,67 f	2,19 f	0,31 f	87,67 abc	12,10 f	5,37 f	2,30 g
	6	16,7 b	156,7 e	16,00 f	3,32 ef	0,42 f	88,33 abc	18,03 f	5,63 f	3,23 fg
	7	16,7 b	298,3 a	205,00 a	128,02 a	32,52 b	79,33 cd	663,43 a	51,23 c	12,97 a
	8	16,0 b	259,7 b	114,67 c	79,80 bc	12,98 c	85,67 abc	532,47 b	97,63 a	5,50 de
	9	16,7 b	218,3 c	57,00 d	38,51 d	5,85 d	84,00 bc	120,33 e	36,90 d	3,27 fg
	10	16,7 b	158,3 e	15,67 f	3,15 ef	1,39 ef	69,00 e	18,23 f	6,13 f	2,97 fg
	CV%	3,51	0,46	6,73	30,89	11,65	4,46	8,99	8,31	12,14
	Media	17,33	219,56	66,76	46,04	10,15	83,30	266,55	38,07	5,92

x=Tratamientos T1-T10, son los genotipos evaluados; Dentro de cada ambiente valores medios con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey P <0,05)

D tub	Días a la tuberización
D senesc	Días a la senescencia total de planta
Alt	Altura de planta en cm
PSTb	Peso seco de tubérculos en g/planta
PSP	Peso seco de planta en g/planta
IC	Índice de cosecha en %
Rend	Rendimiento en g/planta
NT	Número de tubérculos/planta

Anexo 7. Descomposición de efectos simples de la interacción G x A para los distintos genotipos en las variables de interés

	D tub		D muert		Alt		PSTb		PSP		IC		Rend		NT		PPT	
	CM	F test	CM	F test	CM	F test	CM	F test	CM	F test	CM	F test	CM	F test	CM	F test	CM	F test
HY1_Trat	14331,87	**	2649,19	**			2573,77	**	266,24	**	0,005	**	68232,51	**	1470,35	**	36,17	**
HY2_Trat					12716,52	**	5772,08	**			0,0190	**	197026,07	**	2971,08	**	50,84	**
LM1_Trat	3548,67	**	3811,34	**	31515,80	**	15845,40	**	7722,79	**							55,86	**
LM2_Trat			997,47	**	14374,02	**	12594,76	**			0,0328	**					43,54	**
LM3_Trat	17800,83	**	2395,26	**	5711,13	**	11998,36	**	1722,51	**	0,0172	**	464308,67	**	3122,57			
T1_Loc	2046,78	**	1970,22	**	47285,88	**	14234,56	**	16714,89	**	0,0116	**	150586,54	**	641,34	**	38,90	**
T2_Loc	855,11	**	1937,89	**	30034,16	**	4761,32	**	4574,15	**	0,0068	**	206224,29	**	34,33		31,34	**
T3_Loc	1129,33	**	5407,64	**	35284,67	**	581,13		35,84	**	0,0108	**	12678,62	**	577,48	**	7,37	**
T4_Loc	2002,78	**	2616,53	**	51693,41	**	14281,85	**	12079,35	**	0,0115	**	541601,87	**	724,39	**	61,77	**
T5_Loc	235,44	**	6455,44	**	7177,96	**	1184,68	**	7,06		0,0309	**	74928,77	**	662,19	**	28,43	**
T6_Loc	634,11	**	7361,22	**	5038,33	**	1322,07	**	80,88	**	0,0159	**	71981,41	**	1372,88	**	10,92	**
T7_Loc	225,00	**	5239,78	**	15139,24	**	3430,03	**	692,58	**	0,0047	**	67937,71	**	723,90	**	2,78	**
T8_Loc	225,00	**	1283,86	**	25431,49	**	6116,94	**	729,58	**	0,0130	**	369005,56	**	660,99	**	13,61	**
T9_Loc	230,11	**	2499,19	**	29163,64	**	10401,17	**	2364,77	**	0,0209	**	525031,02	**	4495,24	**	31,63	**
T10_Loc	488,44	**	3274,31	**	27178,74	**	3204,88	**	272,60	**	0,0372	**	95650,56	**	3470,53	**	9,85	**

D tub Días a la tuberización  
D senesc Días a la senescencia total  
Alt Altura de planta en cm  
PSTb Peso seco de tubérculos en g  
PSP Peso seco de planta en g  
IC Índice de cosecha  
Rend Rendimiento en g/planta  
NT Número de tubérculos/planta  
PPT Peso promedio de tubérculos en g

Anexo 8. Detalle de las inversiones para la construcción de un módulo aeropónico para la producción de mini-tubérculos de papa en un invernadero de 80 m<sup>2</sup>, en US \$ de Diciembre de 2009

Item	Unidad	Cantidad	Valor		Vida Util (años)	Campañas al Año	Valor Campaña (US\$)
			Unitario (US\$)	Valor Total (US\$)			
<b>Cajones de Cultivo</b>							
Cuartones 2x2x10 de madera	unidad	147	4,22	620,34	7	1	88,62
Clavos de 2'	kg	2	2,67	5,33	7	1	0,76
Clavos de 3'	kg	4	2,33	9,33	7	1	1,33
Clavos de 4'	kg	3	2,33	7,00	7	1	1,00
Angulos de fierro 1 1/2'	unidad	10	11,60	116,00	7	1	16,57
Angulos de fierro 1'	unidad	6	7,10	42,60	7	1	6,09
Cola sintética	kg	2	1,50	3,00	7	1	0,43
Silicona transparente tubo	unidad	10	4,00	40,00	7	1	5,71
Cinta aislante negra 3M	rollos	29	2,67	77,33	7	1	11,05
Tornillos autorroscante de 1"	ciento	2	0,83	1,67	7	1	0,24
Pintura Autocorrosiva	gln	1	14,17	14,17	7	1	2,02
Thiner acrilico	gln	1	6,00	6,00	7	1	0,86
Cinta maskintape	unidad	3	1,00	3,00	7	1	0,43
Tecnopor 2.40 x 1.22 m, 2'	unidad	14	14,50	203,04	7	1	29,01
Tecnopor 2.40 x 1.22 m, 1 1/2'	unidad	30	10,76	322,87	7	1	46,12
Rollo de plástico negro de 8 mm	unidad	0,5	218,86	109,43	7	1	15,63
Plastico Blanco 3 mm	unidad	0,5	168,36	84,18	7	1	12,03
<b>Sistema de Irrigación y Drenaje</b>							
Sumideros	unidad	7	1,67	11,67	7	1	1,67
Llaves de paso 3/4'	unidad	9	4,60	41,40	7	1	5,91
Llaves de paso 1'	unidad	2	5,17	10,33	7	1	1,48
Llaves de válvula de 1/2'	unidad	2	5,67	11,33	7	1	1,62
Llaves de paso de 1/2' (PVC)	unidad	2	3,60	7,20	7	1	1,03
Adaptador mixto de 3/4' PVC	unidad	7	0,63	4,43	7	1	0,63
Tees de 3/4' c/rosca PVC pesado	unidad	11	0,63	6,97	7	1	1,00
Reducciones de 1 a 3/4' (PVC)	unidad	2	0,80	1,60	7	1	0,23
Codos de 3/4' (presión)	unidad	6	0,63	3,80	7	1	0,54
Codos de 1/2 simple	unidad	4	0,40	1,60	7	1	0,23
Codos de 1/2 mixto	unidad	2	0,40	0,80	7	1	0,11
Tubos de 2" desague (PVC)	unidad	14	3,33	46,67	7	1	6,67
Codos de 2' desague (2x90)	unidad	14	0,43	6,07	7	1	0,87
Tees de 2' desague (2x2)	unidad	5	0,90	4,50	7	1	0,64
Tees de 1/2 desague	unidad	2	0,50	1,00	7	1	0,14
Pegamento PVC	unidad	0,25	36,67	9,17	7	1	1,31
Cinta teflon	rollos	5	0,33	1,67	7	1	0,24
Tubo de 3/4' con rosca PVC	unidad	5	5,67	28,33	7	1	4,05
Tubo de 1' PVC pesado	unidad	2	7,67	15,33	7	1	2,19
Tubos de 1/2' PVC pesado	unidad	3	4,33	13,00	7	1	1,86
Codos de 1' PVC pesado	unidad	2	0,90	1,80	7	1	0,26
Llave (union) universal de 3/4' PVC	unidad	2	2,17	4,33	7	1	0,62
Nebulizadores	unidad	56	1,35	75,60	7	1	10,80
Manguera 16 mm.	unidad	0,5	16,84	8,42	7	1	1,20
Conectores tubo a manguera 16 mm	unidad	8	0,67	5,39	7	1	0,77
Terminales para manguera de 16 mm	unidad	8	0,19	1,55	7	1	0,22
Llaves de paso para manguera 16 mm	unidad	8	1,35	10,77	7	1	1,54
Llave (union) universal de 1' PVC	unidad	2	2,97	5,93	7	1	0,85
Codos de 3/4' c/rosca PVC	unidad	2	0,63	1,27	7	1	0,18
Reducciones de 3/4 a 1/2' PVC	unidad	2	0,77	1,53	7	1	0,22
Adaptador de 1' c/rosca PVC	unidad	2	0,90	1,80	7	1	0,26

**Cabezal de Riego**

Hidroneumatico	unidad	1	65,32	65,32	7	1	9,33
Control de nivel automatico	unidad	1	19,00	19,00	7	1	2,71
Manometro 0-80PSI	unidad	2	8,89	17,78	7	1	2,54
Valvula de pie de 1" de bronce CIM	unidad	1	16,78	16,78	7	1	2,40
Presostato SQUARE-D 15-70PSI	unidad	2	11,19	22,37	7	1	3,20
Electro bomba Horizontal PRISMA 15 3M	unidad	1	281,06	281,06	7	1	40,15
Filtro de Agua (Filtro de anillo de 1")	unidad	1	11,94	11,94	7	1	1,71
Tanque de agua 1100 lt.	unidad	1	136,67	136,67	7	1	19,52
Llave Termica 2x40 A	unidad	1	15,65	15,65	7	1	2,24
Programador de tiempo	unidad	1	392,70	392,70	7	1	56,10
Llaves de paso en PVC de 1"	unidad	3	3,00	9,00	7	1	1,29
Llave jardinera de 1/2" CIM	unidad	1	9,68	9,68	7	1	1,38
Unión universal de PVC de 1"	unidad	3	2,74	8,23	7	1	1,18
Reducción de 1 a 1/2"	unidad	1	0,62	0,62	7	1	0,09
Niple 3/4 x 1/4	unidad	1	4,84	4,84	7	1	0,69
cinta teflon	unidad	1	1,34	1,34	7	1	0,19
valvula de bola de 1/2	unidad	1	5,52	5,52	7	1	0,79
Union PVC de 1/2 con rosca	unidad	1	0,54	0,54	7	1	0,08
Mano de obra construcción/instalación	Jornal	10	62,00	620,00	7	1	88,57
<b>Subtotal</b>				<b>3.649,59</b>			<b>521,37</b>

Anexo 9. Costos de materiales e insumos para una campaña de producción de mini-tubérculos de papa bajo un sistema aeropónico en un invernadero de 80 m2, en US \$ de Diciembre de 2009

Item	Unidad	Cantidad	Valor Unitario (US\$)	Valor Total (US\$)	Coefficiente de Ponderación	Valor por campaña (US\$)
<b>Desinfección Ambientes</b>						
Cal viva	Kg	5	1,20	5,98	1	5,98
Lejia, Cloro	L	5	0,64	3,21	1	3,21
Hipoclorito de Ca	Kg	1	3,67	3,67	1	3,67
Jabon Desinfectante	Unidad	1	0,45	0,45	1	0,45
<b>Plántulas de Papa</b>	Unidad	770	0,22	169,40	1	169,40
<b>Solución Nutritiva</b>						
Acido sulfúrico	L	4,23	19,91	84,21	1	84,21
Acido fosfórico	L	0,913	6,67	6,09	1	6,09
<b>Fertilizantes Comerciales</b>						
Fertilizante foliar/ Bayfolan	L	0,012	7,98	0,10	1	0,10
Solución estandar A	L	33,1	2,84	94,00	1	94,00
Solución estandar B	L	13,4	3,65	48,91	1	48,91
<b>Energía Eléctrica</b>	mes	9	18,80	169,20	1	169,20
<b>Agua</b>	M3	11	3,00	33,00	1	33,00
<b>Tratamiento Fitosanitario</b>						
Fungicida 3/ Topaz	Lt/Kg	0,005	78,08	0,39	1	0,39
Insecticida 1/SUNFIRE	Lt/Kg	0,1	126,66	12,67	1	12,67
Insecticida 2/ Delta Plus	Lt/Kg	0,005	38,84	0,19	1	0,19
Insecticida 3/ Decis	Lt/Kg	0,005	38,15	0,19	1	0,19
Insecticida 4/ Evisec	Lt/Kg	0,02	82,91	1,66	1	1,66
<b>Elementos de Manejo</b>						
Espuma de soporte	m2	1	2,00	2,00	1	2,00
Guantes descartables	Cajas	2	14,81	29,62	1	29,62
Papel Toalla	Cajas	5	1,33	6,65	1	6,65
Hilo Pabulo para tutoreo	Unidad	2	1,92	3,84	1	3,84
Bolsas polietileno	Unidad	20	0,29	5,81	1	5,81
Bolsas de papel Kraft #8	Unidad	300	0,08	22,74	1	22,74
Cuchillas o bisturys	Unidad	10	0,62	6,20	1	6,20
Twist de amarre de plantas	Unidad	2800	0,01	16,28	1	16,28
<b>Total</b>				<b>726,47</b>		<b>726,47</b>