

Calidad de plántula en cinco cultivares de papa determinada por la intensidad de luz blanca y tipo de propagación

Delfina de Jesús Pérez López*, Tannia Mayte Gómez García**, Andrés González Huerta*, Omar Franco Mora*, Martín Rubí Arriaga**, Francisco Gutiérrez Rodríguez* y Rodolfo Serrato Cuevas**

Recepción: 23 de septiembre de 2011

Aceptación: 15 de enero de 2013

* Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México, México.

** Ex-alumno, Especialidad de Agroindustrias, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México, México.

Correos electrónicos: djperezl@uaemex.mx; mayte_ja87@hotmail.com; agonzalezh@uaemex.mx; ofrancom@uaemex.mx; m_rubi65@yahoo.com.mx; fgutierrez@uaemex.mx y seccum@yahoo.com.mx
Se agradecen los comentarios de los árbitros de la revista.

Resumen. Se realiza una evaluación del crecimiento de plántulas de cinco cultivares de papa, propagadas a partir de esquejes de ápices y de medios en presencia de luz blanca, para determinar la calidad de la plántula. Los cultivares Atlantic y Fianna presentaron una mayor adaptación al Sistema Hidropónico debido a un mayor grosor de tallo y a la presencia de abundante raíz; el clon FL-1867 presentó el mayor número de nudos y en calidad de raíz fue sobresaliente. El efecto de la luz blanca no favoreció la altura de la planta y número de nudos. La luz blanca a 6 000 y 5 000 luxes contribuyó a un grosor de tallo de 1.24 y 1.23 mm, cumpliendo con los estándares de calidad para el laboratorio.

Palabras clave: *Solanum tuberosum* L., luz blanca, esquejes de ápices y medios, calidad de plántula.

Plantlet Quality in Five Potato Cultivars Determined by the White Light Intensity and Type of Propagation

Abstract. The aim of this study was to evaluate the growth of seedlings of five potato cultivars propagated from cuttings of shoot tips and media in the presence of white light and to determine the seedlings' quality. The cultivars Atlantic and Fianna showed a greater adaptation to Autotrophic Hydroponic System due to increased stem thickness, and the presence of abundant roots, the clone FL-1867 had the highest number of leaves and it was outstanding in root quality. The effect of white light did not contribute to a positive response in plant height and number of nodes. The white light at 6 000 and 5 000 lux had a stem diameter of 1.24 and 1.23 mm in compliance with quality standards for laboratories.

Key words: *Solanum tuberosum*, white light, shoot tips and media cutting, seedlings quality.

Introducción

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es una especie que ocupa el cuarto lugar en producción mundial, después del trigo (*Triticum aestivum* L.), arroz (*Oryza sativa* L.) y maíz (*Zea mays* L.). En 2007 alcanzó una producción de 325 millones de toneladas (FAOSTAT, 2008). La riqueza nutrimental del tubérculo, el alto rendimiento y el valor económico por unidad de superficie cultivada satisface los requerimientos energéticos y nutricionales de más de dos mil millones de personas en los países en desarrollo (Scott *et al.*, 2000).

La luz es uno de los elementos que influye de manera directa en el rendimiento y en la respuesta de las plantas cultivadas en campo abierto y ambiente protegido, principalmente aquella que ejerce una respuesta fisiológica, ya sea para estimular la germinación de semillas, el enraizamiento de esquejes, el control del fotoperiodo o para favorecer la floración o en procesos de fotomorfogénesis, así como la capacidad de los genotipos para absorber radiación fotosintéticamente activa. Salisbury y Ross (1994) sostienen que la luz es un importante factor ambiental que controla el crecimiento y el desarrollo de las plantas a través de los procesos de fotosíntesis, cuya

tasa de conversión de energía luminosa en energía química está determinada fundamentalmente por la intensidad de radiación en el espectro luminoso visible y en el proceso de fotorrespiración que se produce en presencia de luz; su tasa depende de la intensidad luminosa (Benavides y Ramírez, 2002). Escobar (2000) menciona que ciertas longitudes de onda son las que mejor aprovechan las plantas para realizar sus funciones vitales de fotosíntesis, fototropismo o fotomorfogénesis, concretamente las del azul y rojo.

La papa se caracteriza por su extraordinaria habilidad de adaptación a distintas condiciones de clima y suelo, por lo que se convierte en una especie con un alto potencial de rendimiento en las sierras y valles altos de México (Berman, 1990). Sin embargo, se tienen serios problemas de abastecimiento de semilla de calidad. Actualmente se está trabajando con el Sistema Autotrófico Hidropónico (SAH) para la producción de plántulas de variedades de papa con características adecuadas principalmente para fritura que combina la técnica de micro-propagación y de multiplicación autotrófica. Con el uso del SAH se tiene plántula de mayor tamaño, mejor funcionamiento fisiológico y un crecimiento uniforme; además, disminuyen las pérdidas por contaminaciones y estrés postransplante. En estas condiciones se observa una excelente adaptación y un rápido crecimiento luego del trasplante, y se obtiene una mayor cantidad de plántulas en menor tiempo; esta técnica no requiere de reguladores de crecimiento. En invernadero, igualmente presenta muchas ventajas frente al sistema *in vitro*, mayor aclimatación, aumento del rendimiento en un 25% y bajo costo de producción.

Desafortunadamente, para los valles altos de la Mesa Central de México esta información no ha sido generada para los cinco cultivares de papa considerados en el presente estudio (Fianna, FL-1867, FL-2055, Atlantic y Snowden). Así, el objetivo principal fue evaluar el crecimiento de plántulas de cinco cultivares de papa propagadas por segmentos nodales

(medios y ápices) en presencia de luz blanca, determinar la calidad de plántula a partir de tres características morfológicas usando los estándares de CDAS y estimar la asociación entre las variables evaluadas.

1. Materiales y métodos

1. 1. Descripción del área de estudio

El trabajo se realizó en el Laboratorio de Cultivo de Tejidos del Centro de Investigación y Desarrollo Agrícola de la empresa Sabritas S.A. de C.V. (CDAS) ubicado en San Antonio la Isla, Estado de México. Este municipio se localiza en el extremo sur-occidente de la cuenca del río Lerma, dentro del Valle de Toluca. Su posición geográfica es 99° 11' 30" de latitud norte y 99° 35' 43" de longitud oeste. Está situado a una altitud de 2 595 m (Colindres, 1999).

1. 2. Material vegetativo

En este trabajo se evaluaron cinco cultivares de papa: Fianna, FL-1867, FL-2055, Atlantic y Snowden proporcionados por la empresa Sabritas (cuadro 1). De cada uno se manejaron segmentos nodales de ápices y medios.

1. 3. Diseño y tamaño de la unidad experimental

Se formaron 30 tratamientos (combinación de cinco cultivares, tres tratamientos de luz blanca y dos tipos de segmentos nodales). Se evaluaron en un diseño experimental completamente al azar con arreglo trifactorial con cinco repeticiones. El tamaño de la unidad experimental se integró por un domo (charola 14.4 × 13 × 8 cm) colocándose 45 esquejes en cada uno.

1. 4. Tratamientos de luz blanca

Se consideraron dos tratamientos de luz blanca más el testigo ($\tau_1 = 6\ 000$ luxes; $\tau_2 = 5\ 000$ luxes; $\tau_3 = 2\ 000$ luxes; testigo).

Cuadro 1. Características agronómicas de los cinco cultivares de papa utilizados en este estudio.

Cultivar	Origen	Forma del tubérculo	Tipo de yemas	Color de cutícula	Color de pulpa	Hábito de crecimiento	Color de flor	Precocidad	Rento. (t Ha ⁻¹)	Enfermedades
Fianna	KO62-660 × AM66-42	Oval	Superficial	–	Amarilla	Semi-erecto	Blanca	–	–	Susceptible a sarna común
FL-867	Desconocido	Oval	Semiprofundo	Amarilla	Blanca	Semi-erecto	Blanca	Intermedia (110 días)	30	Susceptible a PVLR, T. T. y temprano
FL-2055	Desconocido	Oval	Semiprofundo	Amarilla	Amarilla	Semi-erecto	Blanca	Tardía (120-130 días)	32	Susceptible a T. T.
Atlantic	Wauseon × B5141-6	Oval-corto	Superficial	Blanca	Blanca	Erecto	Púrpura	Precoz (80-90 días)	35	Susceptible al T.T y PVY
Snowden	B5141-6 × Wischip	Redondo	Semiprofundo	–	Amarilla	Erecto	Blanca	Precoz (75-90 días)	–	Susceptible a T. T.

Nota: Rento. = rendimiento de tubérculo; T.T. = tizón tardío; PVLR = virus del enrollamiento de la hoja; PVY = virus del mosaico rugoso.

Fuente: Centro de Investigación y Desarrollo Agrícola de la Empresa Sabritas (CDAS, 2010).

2. Desarrollo del trabajo experimental

2.1. Preparación del sustrato

Se realizó mediante el Sistema Autotrófico Hidropónico (SAH), en el cual el sustrato (3.8 pies cúbicos) se esterilizó una hora y media en la autoclave a 121°C y con 20 grados de presión. Posteriormente se extendió en una tina y se aplicó 0.4 g de Bactiva, inoculante sólido, disuelto en agua de osmosis inversa y finalmente se llenaron los domos con este sustrato.

El sustrato utilizado es de la empresa Berger y está integrado de turba de esfagno (fina), perlita fina, cal dolomítica y calcítica y agente humectante. Los domos se colocaron en contenedores de polipropileno con tapa de 14.4 × 13 × 8 cm, aproximadamente; en la tapa de los domos se realizaron tres orificios en cada extremo para permitir el intercambio de gases. Se llenó la base del domo con 305.704 ml de sus-

trato SAH e inmediatamente se aplicó la solución nutritiva y se dejó reposar por 10 min.

La solución nutritiva constó de nitrato de calcio (1.18 g L⁻¹), fosfato monopotásico (0.136 g L⁻¹), sulfato de magnesio (0.49 g L⁻¹), nitrato de potasio (0.505 g L⁻¹) y quelato de hierro (0.166 g L⁻¹). Después de comprimir el sustrato con la solución, se sembraron los esquejes de ápices y medios (figura 1).

Corte de esquejes y siembra en laboratorio: de cada planta madre se cortaron los esquejes de los ápices y de los entrenudos (parte media o medios), y se sembraron en domos independientes; se identificó cada domo según la variedad y posteriormente, en el cuarto de incubación, se colocaron a temperaturas entre 24 y 25°C.

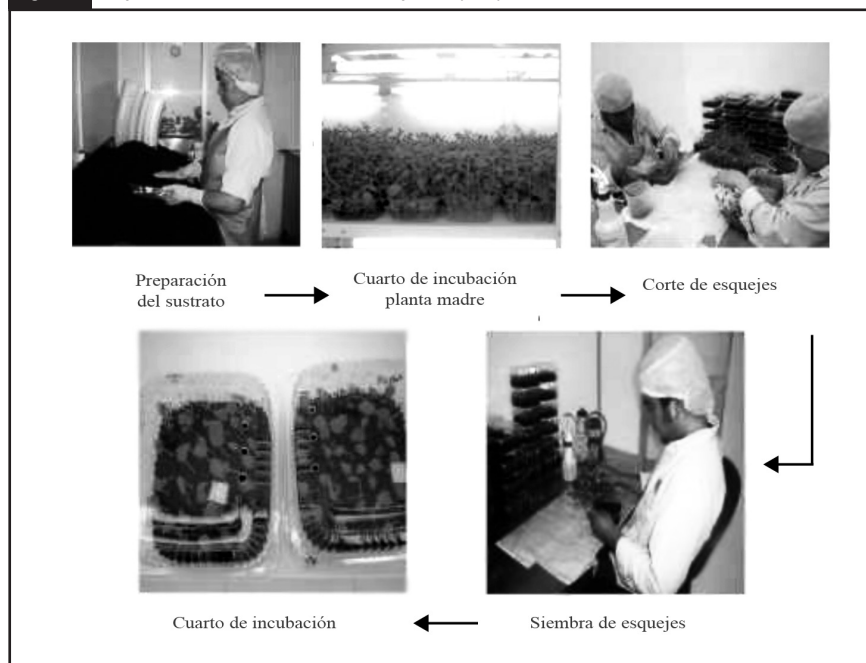
Fertilización: se preparó de acuerdo con la fecha de siembra aplicando el tratamiento 20N-20P-20K. Las fuentes de fertilizantes fueron urea (46%), superfosfato de calcio triple (46%) y cloruro de potasio (50%). Los aminoácidos aplicados

en mezcla fueron κ-tionic y Bionare, en proporción de 1 ml de cada producto por litro de agua (cuadro 2).

Riego: se aplicaron dos riegos por semana. Los martes se regó con agua de osmosis y los viernes con la solución nutritiva mencionada; además cada quince días se hizo un riego y una fertilización con el tratamiento 20N-20P-20K. Para la disolución de los fertilizantes aplicados con el riego se empleó agua de osmosis inversa. Un proceso que clarifica y elimina cualquier microorganismo.

Prevención de enfermedades: se combinó Captan (0.5 g L⁻¹), Benlate (Benomyl) (1 g L⁻¹), Shogun 500 FW (Fluazinam) (0.1 ml L⁻¹) y Sportak 45 CE (Prochloraz) (0.5 ml L⁻¹). Estos productos se alternaron una vez al mes.

Figura 1. Esquema del Sistema Autotrófico Hidropónico (SAH).



Cuadro 2. Los aminoácidos aplicados en la mezcla fueron K-ionic y Bionare.

		K-tionic (%)			
Complejo orgánico fúlvico					25
Diluyentes y acondicionadores					75
		Bionare (%)			
Nitrógeno	3.9	Boro	0.04	Zinc	2.7
Fósforo	2.6	Cobalto	0.005	Vit. B1	2.6
Potasio	2.6	Cobre	1.3	A y D	59.09
L-Aminoácidos	24.0	Fierro	2.0		
Calcio	0.2	Manganeso	1.3	Total	100
Magnesio	0.26	Molibdeno	0.005		

Nota: A y D = acondicionadores y diluyentes.

2.2. Variables de estudio

Los datos registrados en el experimento para cada variable se determinaron con base en un tamaño de muestra de 45 esquejes de ápices y 45 de la parte media en las cinco variedades de papa. Variables de interés: altura de planta (AP; se midió de la base del tallo principal al ápice de la plántula, se expresó en centímetros), número de nudos (NN; se contó el número de

nudos por plántula), grosor del tallo (GT; se consideró la parte central del tallo y su promedio aritmético se expresó en milímetros); cantidad de raíz (CR; se registró usando la escala dada por el CDAS, donde 1 = abundante, 2 = regular y 3 = ausente).

2. 3. Análisis estadístico

Los valores fenotípicos observados en las unidades experimentales para cada característica de interés fueron analizados mediante el análisis de varianza. En el experimento trifactorial se empleó el siguiente modelo lineal:

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + B_j + C_k + A_i B_j + A_i C_k + B_j C_k + A_i B_j C_k + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde: Y_{ijkl} es el valor fenotípico del $i j k$ -ésimo tratamiento (combinación de cultivar, tratamiento de luz blanca y tipo de segmento nodal); μ es la media general; A_i es el efecto del i -ésimo cultivar; B_j es el efecto del j -ésimo tratamiento de luz blanca; C_k es el efecto del k -ésimo segmento nodal; $A_i B_j$ es el efecto de la interacción entre el i -ésimo cultivar con el j -ésimo tratamiento de luz blanca; $A_i C_k$ es el efecto de la interacción entre el i -ésimo cultivar y el k -ésimo segmento nodal; $B_j C_k$ es el efecto de la interacción entre el j -ésimo tratamiento de luz blanca y el k -ésimo segmento nodal; $A_i B_j C_k$ es el efecto de la interacción entre el i -ésimo cultivar, el j -ésimo tratamiento de luz blanca y el k -ésimo segmento nodal; ε_{ijkl} es un término aleatorio asociado al error experimental de este modelo.

La prueba de F se aplicó para determinar si las diferencias entre tratamientos fueron o no estadísticamente significativas a un nivel del 0.05 o 0.01 de probabilidad de error. Cuando la prueba de F fue significativa para alguna variable, se compararon las medias de los tratamientos con la prueba de la diferencia mínima significativa (DMS) en el nivel de significancia del 0.05. Adicionalmente se calculó la asociación lineal simple entre pares de características agronómicas con el análisis de correlación. Los procedimientos algebraicos para el cálculo de cada uno de estos análisis mencionados fueron descritos por Martínez (1988). Las gráficas se elaboraron con Microsoft Excel versión para Windows 1997-2003.

3. Resultados y discusión

3. 1. Análisis de varianza

En el cuadro 3 se muestran los cuadrados medios y la significancia estadística de los valores de F para los caracteres agronómicos evaluados en este estudio.

Los cuadrados medios para cultivares (factor A) fueron significativos para las tres variables evaluadas. Estos resultados se atribuyen a que los cultivares son genética y geográficamente diferentes (cuadro 1). Para tratamientos de luz blanca (factor B) se detectaron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) en grosor de tallo (GT) y número de nudos (NN). La interacción $A \times B$ fue significativa en GT y NN, mientras que para las interacciones $A \times C$ y $A \times B \times C$ los efectos fueron significativos en GT y NN, respectivamente. Estos resultados sugirieron que los efectos de la luz blanca y de los cultivares de papa no deben estudiarse independientemente debido a que ambos factores están interrelacionados, de ahí la significancia estadística de la mayoría de las interacciones. El factor C (tipo de segmento) y la interacción $B \times C$ no fueron significativos en las tres variables de estudio. Estos resultados son similares a los obtenidos por Toledo (2004), quien evaluó luz blanca, azul y roja en papa y reportó diferencias significativas en AP y NN, con una mejor respuesta a la luz blanca.

Los Coeficientes de Variación (c.v. %) para altura de planta, grosor del tallo y número de nudos fueron de 11.4, 20.8 y 18.8%, respectivamente (cuadro 4). Debido a que

Cuadro 3. Cuadrados medios y significancia estadística de los valores de F para altura de planta (AP), grosor del tallo (GT) y número de nudos (NN), registrados en cinco cultivares de papa, tres niveles de luz blanca y dos tipos de segmento nodal.

Fuente de variación	GL	AP	GT	NN
Variedades (A)	4	54.466**	0.170*	19.610**
Luz blanca (B)	2	0.954***	0.297**	1.286**
Tipo de segmento (C)	1	0.601***	0.001***	0.026***
A*B	8	2.536**	0.138*	0.745**
A*C	4	0.198***	0.303**	0.343***
B*C	2	0.050***	0.042***	0.166***
A*B*C	8	0.581***	0.045***	0.658**
Error	120	0.708	0.062	0.2366
C. V. (%)		11.49	20.86	18.80

Nota: *significativo al 0.01; **significativo al 0.05; ***no significativo.

Cuadro 4. Valores medios de las tres variables registradas en los cinco cultivares de papa.

Variedades	Altura de planta (cm)	Grosor de tallo (mm)	Número de nudos	Cantidad de raíz
FL-1867	8.65 a	1.12 b	3.26 a	Abundante
Atlantic	7.80 b	1.18 a	2.56 b	Abundante
Fianna	7.92 b	1.25 a	2.43 b	Abundante
Snowden	5.12 d	1.28 a	1.33 c	Regular
FL-2055	7.10 c	1.12 b	3.33 a	Regular
DMS ($p = 0.05$)	0.430	0.127	0.248	

Nota: las medias con la misma letra dentro de cada columna son iguales estadísticamente.

el experimento se realizó en condiciones controladas, se esperaban c.v. más pequeños; así hubo variación dentro de tratamientos que podría estar enmascarada en algún grado su verdadero efecto para cada factor de estudio y para sus interacciones.

4. Comparación de medias

4. 1. Cultivares de papa (factor A)

El comportamiento agronómico de los cinco cultivares de papa en relación con la altura de planta en condiciones de laboratorio fluctuó de 5.12 a 8.65 cm. El clon FL-1867 presentó el mayor promedio aritmético (8.65 cm), y fue estadísticamente diferente de los cuatro cultivares restantes. Atlantic (7.8 cm) y Fianna (7.92 cm) fueron iguales estadísticamente y la variedad Snowden (5.12 cm) mostró el promedio más bajo (cuadro 4). Estos resultados son contrarios a los obtenidos en invernadero por Pérez *et al.* (2011), cuyos valores para otro grupo de cultivares fluctuaron de 38.68 a 62.86 cm. La altura de planta en los cinco cultivares fue inferior a la reportada en la *Guía Técnica de la Descripción Varietal en Papa* (SNICS, 2000) que para las condiciones de siembra en campo en el Valle de Toluca tiene la siguiente descripción: muy corta (80 cm o menos), corta (90 cm), mediana (100 cm), alta (140 cm) y muy alta (160 cm). Por el contexto anterior, sería interesante determinar el comportamiento de los cinco cultivares de papa tanto en condiciones de campo como de invernadero para comparar a detalle los resultados obtenidos por Pérez *et al.* (2011) y por SNICS (2000).

Los estándares de calidad de plántula de CDAS están definidos en el intervalo de 10 a 15 cm para condiciones de laboratorio y los cinco cultivares no cumplieron con esta norma al variar de 5.12 (Snowden) a 8.65 cm (FL-1867).

Los cultivares que presentaron un grosor de tallo (GT) estadísticamente igual fueron Snowden (1.28 mm), Fianna (1.26 mm) y Atlantic (1.18 mm); difirieron significativamente de FL-1867(1.12 mm) y FL-2055 (1.12 mm) (cuadro 4). Atlantic es el cultivar más comercial desde el punto de vista agroindustrial. Pérez-López *et al.* (2007) la clasificaron como de tallo medio de acuerdo con la escala dada por el

SNICS (2000), donde 3 = delgado, 5 = medio y 7 = grueso. De acuerdo con esta escala, los cinco cultivares presentaron un tallo delgado. Sin embargo, considerando los parámetros establecidos por el CDAS, el grosor del tallo debe ser ≥ 1 mm. Los cinco cultivares cumplieron con la calidad requerida ya que variaron de 1.12 a 1.28 mm.

Los clones FL-1867 (3.26) y FL-2055 (3.33) presentaron el mayor promedio aritmético para número de nudos (NN), seguidos de Atlantic (2.56) y Fianna (2.43) que fueron estadísticamente diferentes de Snowden (1.33) (cuadro 5). Esta característica es importante ya que a partir de los nudos se desarrollarán las ramas, hojas compuestas y las inflorescencias; a mayor cantidad de estas características, mayor área foliar y fotosíntesis y por lo tanto mayor producción de tubérculos. Las plantas seleccionadas por su mayor número de nudos con el Sistema Autotrófico Hidropónico producirán plantas de calidad que expresen el mayor rendimiento cuando se lleven a campo. Los estándares de calidad para esta variable, según CDAS, son de al menos tres nudos. De acuerdo con esta información, sólo los cultivares FL-1867 (3.26) y FL-2055 (3.33) cumplieron con los estándares de calidad.

La cantidad de raíz (CR) se determinó cualitativamente; los cultivares FL-1867, Atlantic y Fianna presentaron abundancia de raíces, lo que puede indicar mayor aclimatación de los cultivares al Sistema Autotrófico Hidropónico (SAH); Snowden y FL-2055 se clasificaron como de raíz regular (cuadro 4). Los tres cultivares con abundancia de raíces también presentaron la mayor altura de plántula; este resultado está relacionado estrechamente con el volumen de suelo que la plántula puede explorar; un cultivar con raíces abundantes, explora mayor volumen de suelo y absorbe una mayor cantidad de agua y nutrientes e incrementa su producción de biomasa, su altura de planta y su producción de tubérculo.

4. 2. Luz blanca (factor B)

Aun cuando se observó un ligero incremento en la altura de la planta al aumentar la intensidad de la luz blanca en el intervalo de 2 000 a 5 000 luxes, el testigo (T3 2 000 luxes + 7.19 cm) fue estadísticamente igual a los tratamientos T1 (6 000 luxes + 7.46 cm) y T2 (5 000 luxes + 7.30 cm) (cuadro 5). Estos resultados contrastan con los obtenidos por Toledo (2004), quien evaluó tres diferentes longitudes de onda (luz blanca,

azul y roja) en papa y concluyó que los mayores promedios se obtuvieron con luz blanca (11.8 cm), seguido de luz roja (8.37 cm) y azul (5.64 cm). Escobar (2000) mencionó que ciertas longitudes de onda son las que mejor aprovechan las plantas para realizar sus funciones vitales de fotosíntesis, fototropismo o

Cuadro 5. Valores medios correspondientes a las variables registradas en los tres tratamientos de luz blanca.

Tratamientos (luz blanca)	Altura de planta (cm)	Grosor de tallo (mm)	Número de nudos	Cantidad de raíz
T1 = 6 000 luxes	7.46 a	1.24 a	2.74 a	Abundante
T2 = 5 000 luxes	7.30 a	1.23 a	2.60 a	Regular
T3 = 2 000 luxes	7.19 a	1.10 b	2.42 b	Regular
DMS ($p = 0.05$)	0.333	0.098	0.192	

Nota: las medias con la misma letra dentro de cada columna son iguales estadísticamente.

fotomorfogénesis como las relacionadas con la luz azul y roja. En este estudio se observó que la luz blanca no incrementó estadísticamente la altura de la plántula (7.19 cm a 7.46 cm), ya que no cumplió con los estándares de calidad establecidos por CDAS que son de 10 a 15 cm en condiciones de laboratorio. Los tratamientos con luz blanca T1 (6 000 luxes = 1.24 mm) y T2 (5 000 luxes = 1.23 mm) presentaron el mayor promedio aritmético en grosor de tallo y ambos difirieron estadísticamente del testigo (T1 = 2 000 luxes = 1.10 mm) (cuadro 5).

En este trabajo se muestra que la luz blanca tuvo un efecto positivo en el grosor de tallo, característica importante desde el punto de vista genético en la selección de genotipos sobresalientes porque las plantas con mayor diámetro de tallo pueden tolerar mejor el estrés producido por factores ambientales. También se observó que los tres tratamientos con luz blanca contribuyeron a mejorar los estándares de calidad del CDAS.

Los tratamientos de luz blanca T1 (6 000 luxes = 2.74) y T2 (5 000 luxes = 2.60) presentaron el mayor promedio aritmético para número de nudos (NN) difiriendo estadísticamente del testigo T3 (2 000 luxes = 2.42) (cuadro 6). Estos resultados son similares a los reportados por Toledo (2004), quien observó que el mayor desarrollo se alcanzó al aplicar luz blanca (4.47 nudos) seguido de luz azul (3.04) y roja (3.41). Sin embargo, ningún tratamiento de luz blanca cumplió con los estándares de calidad establecidos por CDAS, que es de al menos tres nudos.

La cantidad de raíz (CR) fue abundante en el tratamiento T1 (6 000 luxes) en relación con el testigo T3 (2 000 luxes) y a T2 (5 000 luxes), ambas con raíces clasificadas como regular (cuadro 5). Estos resultados fueron similares a los de Toledo (2004), quien observó longitud de raíz aceptable cuando aplicó luz blanca. Miyashita *et al.* (1997) obtuvieron un incremento en la longitud de raíz con luz roja lejana. La literatura reporta que los fitocromos son moléculas pigmentadas que absorben luz roja (660 nm) y roja lejana (730 nm) que ejercen efectos favorables sobre el crecimiento y desarrollo morfológico en papas cultivadas *in vitro*. Sin embargo, la luz blanca es la más apropiada para la micropropagación de esta especie. En papas este método emplea luz blanca para obtener microtubérculos en miniatura (Montoya y Marina, 1991).

Cuadro 6. Valores medios medios para altura de planta (AP), grosor de tallo (GT), número de nudos (NN) y cantidad de raíz (CR) en dos tipos de segmento nodal.

Segmento nodal	AP	GP	NN	CR
C1 = medios	7.38 a	1.19 a	2.60 a	Regular
C2 = ápices	7.25 a	1.18 a	2.57 a	Abundante
DMS (0.05)	0.272	0.080	0.157	

Nota: las medias con la misma letra dentro de cada columna son iguales estadísticamente.

4. 3. Tipo de segmento (factor c)

Al multiplicar plántulas de papa con dos tipos de segmentos nodales (medios y ápices), se observó que para altura de planta (AP), grosor de tallo (GT) y número de nudos (NN) no hubo efectos significativos (cuadro 6). Este resultado es importante desde el punto de vista agronómico y económico al sugerir que uno u otro tipo de segmento nodal puede emplearse eficientemente en la multiplicación de estos cinco cultivares de papa.

En ápices se apreció la mayor abundancia de raíz que en medios. Estos resultados fueron similares a los reportados por Rigato *et al.* (2001) al usar la técnica del SAH; ellos observaron que los esquejes apicales y los medios enraizaron sin la necesidad de aplicar reguladores del crecimiento. También las plántulas obtenidas autotróficamente presentaron un aspecto morfológico distinto a las obtenidas comúnmente *in vitro* siendo aquellas de baja altura, pero de tallos robustos y hojas anchas.

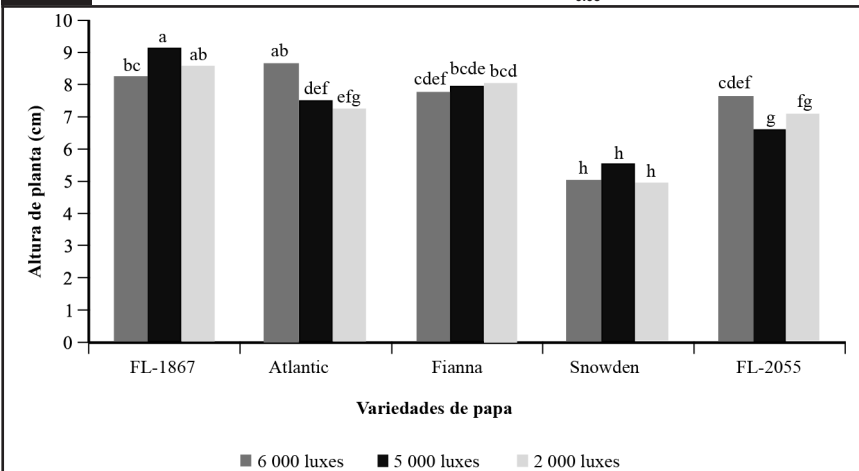
Por su parte, Kubota y Kozai (1992) observaron que se pueden regenerar plántulas de papa por medios autotróficos debido a que los segmentos y las plántulas obtenidas poseen una alta capacidad para fotosintetizar; para ellos el SAH resultó una alternativa muy práctica y de bajo costo para la producción de plántulas de papa.

5. Interacción entre factores

La comparación de medias es apropiada cuando las interacciones en el análisis de varianza no son significativas. En el cuadro 3 se detectaron diferencias significativas para las interacciones A × B (altura de planta, grosor del tallo y número de nudos), A × C (grosor del tallo) y A × B × C (número de nudos), por lo que es deseable comparar sus medias ya que los efectos de los factores principales no son independientes; es decir, la respuesta a un nivel de un factor se modificó estadísticamente en presencia del nivel del otro u otros factores. En el contexto anterior, las variedades FL-1867 y Atlantic incrementaron su altura de plántula en 5 000 y 6 000 luxes, respectivamente, pero en la segunda variedad ocurrió una disminución significativa a 2 000 luxes y en la primera a 6 000 luxes (gráfica 1). Este resultado permite sugerir que FL-1867 con 2 000 luxes debe recomendarse sobre el resto de las combinaciones debido a un menor costo en la aplicación de menos luz artificial.

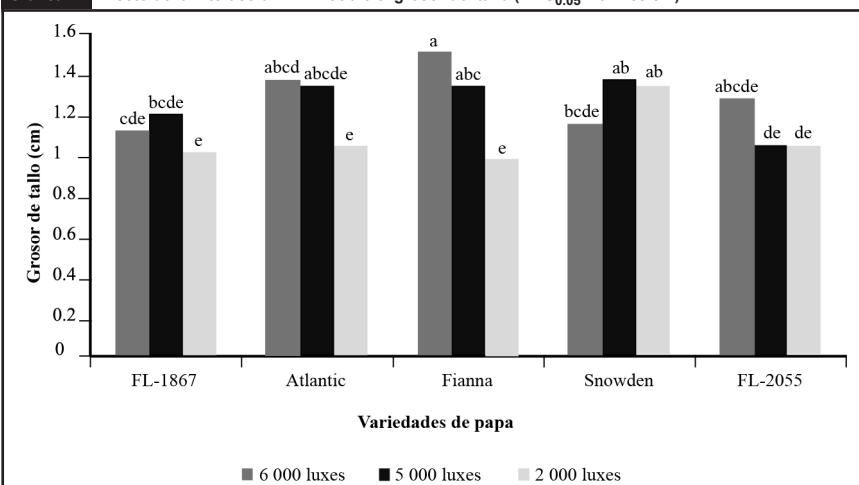
En relación con el grosor del tallo, la interacción significativa que se detectó en A × B se atribuye principalmente a la insensibilidad que mostró la variedad Snowden a 2 000 y 5 000 luxes, donde se

Gráfica 1. Efecto de la interacción A × B sobre la altura de la planta ($DMS_{0,05} = 0.727$ cm).



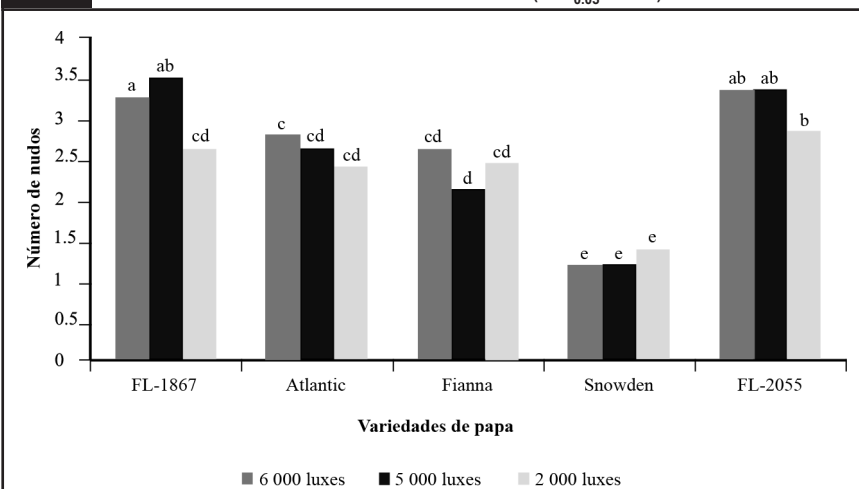
Nota: las barras con la misma letra son iguales estadísticamente.

Gráfica 2. Efecto de la interacción A × B sobre el grosor del tallo ($DMS_{0,05} = 0.2183$ cm).



Nota: las barras con la misma letra son iguales estadísticamente.

Gráfica 3. Efecto de la interacción A × B sobre el número de nudos ($DMS_{0,05} = 0.426$).



Nota: las barras con la misma letra son iguales estadísticamente.

registraron plántulas con tallo más grueso que a 6 000 luxes. En las otras cuatro variedades sucedió lo contrario ya que el menor grosor de tallo se registró a 2 000 luxes. En las variedades Atlantic y Fianna el incremento en la intensidad de la luz, de 5 000 a 6 000 luxes, no originó aumento significativo en esta variable (gráfica 2).

La interacción A × B significativa que se observó en números de nudos, se explica fundamentalmente por la disminución registrada en las variedades FL-1867 y FL-2055 al pasar de 6 000 y 5 000 a 2 000 luxes. En Atlantic, Fianna y Snowden no hubo respuesta significativa al incrementarse la intensidad de la luz en el intervalo evaluado, pero en la última variedad se registraron los menores promedios aritméticos (gráfica 3).

Para la interacción A × C, en Atlantic y Snowden estadísticamente es más recomendable su propagación por medios, pero en Fianna es más conveniente el empleo de ápices. Para FL-1867 y FL-2055 existe la ventaja del empleo de uno u otro tipo de propagación ya que su diferencia no fue significativa (gráfica 4).

Al considerar la combinación de cada uno de los niveles de los tres factores, se detectó que los mejores tratamientos para incrementar el número de nudos fueron T1, T2, T3 y T4 (medias de 3.4, 4.0, 3.6 y 3.4 cm, respectivamente); éstos correspondieron al cultivar FL-1867 propagado por medios o por ápices a 6 000 o 5 000 luxes. Las otras tres mejores combinaciones, iguales estadísticamente a las cuatro superiores, involucraron al cultivar FL-2055 con 6 000 luxes y propagado por ápices (T26), 5 000 luxes y ápices (T28) y 2 000 luxes con propagación por medios (T29) (gráfica 5). De los resultados anteriores se puede inferir que el tratamiento más deseable sería el identificado como T29 por producir un número aceptable de nudos con la menor intensidad de luz.

5. 1. Correlación entre variables

Los resultados presentados en el cuadro 7 muestran que el número de nudos se correlacionó positiva y significativamente con altura de planta y negativa y significativamente con grosor de tallo. La correlación entre altura de planta y grosor de tallo no fue significativa.

Cuando un carácter está correlacionado con otros componentes, la selección hecha en algunos de éstos puede producir cambios en el primero, debido a que la producción de tubérculos es un carácter poligénico. Es lógico suponer que está relacionado con otros caracteres de la planta y del tubérculo, por lo que la selección indirecta practicada en estas variables en estado de plántula afectará en algún grado la expresión tanto del rendimiento como de la calidad de planta y tubérculo (Rousselle *et al.*, 1999). La correlación positiva y significativa entre número de nudos y altura de planta es importante, ya que la primera variable está asociada a una mayor producción de tallos laterales y, por lo tanto, a una mayor producción de tubérculos por planta.

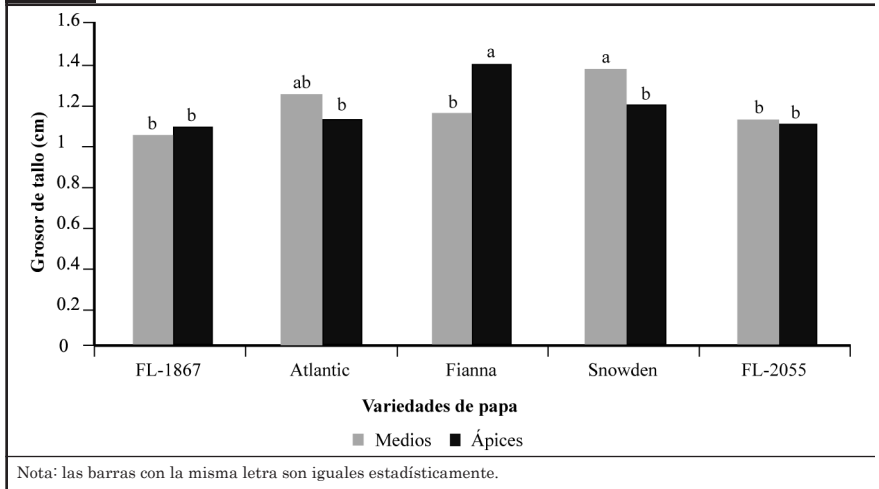
También debe considerarse que un mayor número de nudos afecta significativamente el grosor del tallo de la plántula y también podría disminuir la producción de tubérculos por planta y por hectárea.

Cuadro 7. Significancia estadística de los coeficientes de correlación calculados en cinco cultivares de papa en presencia de luz blanca usando dos tipos de segmento nodal.

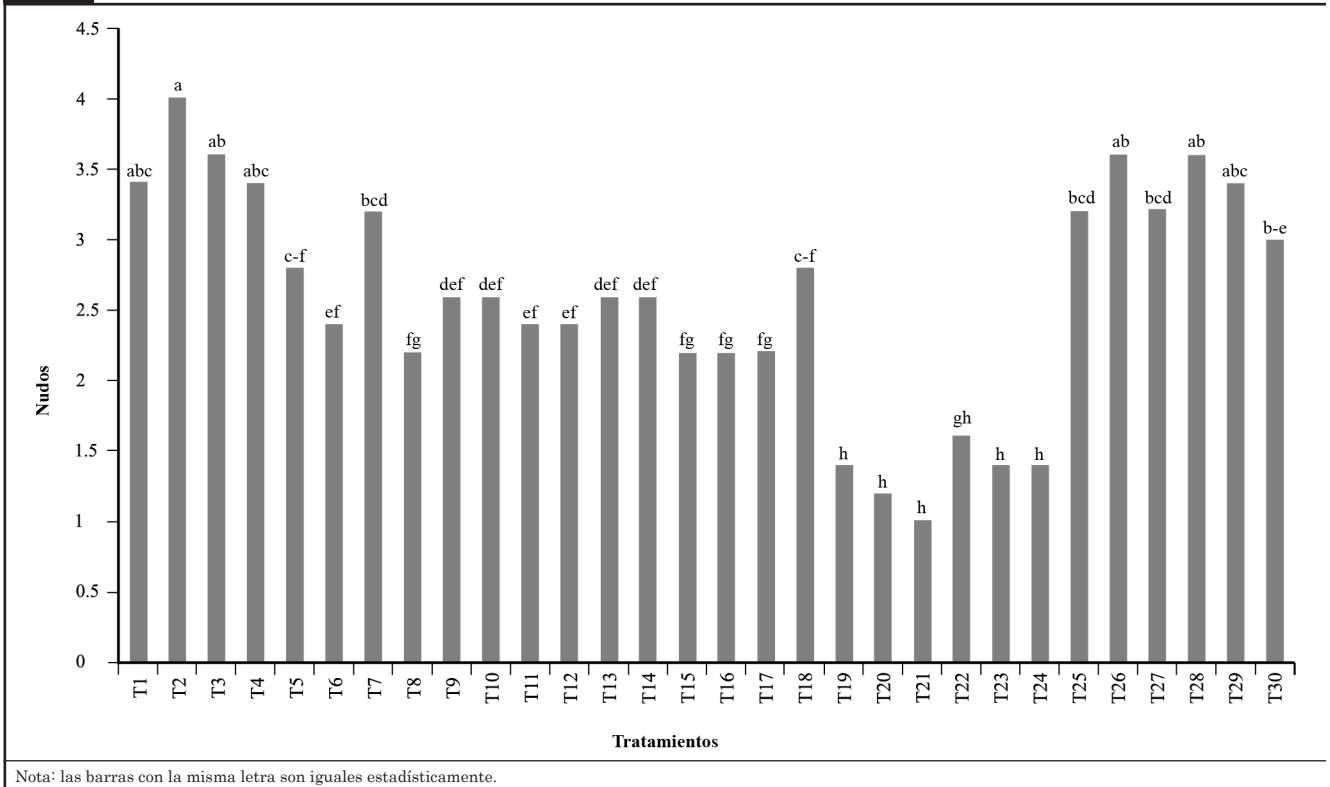
Variabes	Altura de planta	Grosor de tallo	Número de nudos
Altura de planta	-	-0.135***	0.521**
Grosor de tallo		-	-0.177*
Número de nudos			-

Nota: *significativo al 0.01; **significativo al 0.05; ***no significativo.

Gráfica 4. Efecto de la interacción A x B sobre el número de nudos (DMS_{0,05} = 0.178 cm).



Gráfica 5. Efecto de la interacción A x B x C sobre el número de nudos (DMS_{0,05} = 0.603).



Conclusiones

Los cultivares Atlantic y Fianna presentaron una mayor adaptación al Sistema Autotrófico Hidropónico (SHA) debido a un mayor grosor del tallo determinado con los parámetros de calidad requeridos por el CDAS y a la presencia de abundante raíz; el clon FL-1867 presentó el mayor número de nudos y en calidad de raíz fue sobresaliente. El efecto de la luz blanca no contribuyó a una respuesta favorable en altura de planta (AP) y número de nudos (NN) ya que no se cumplieron los estándares de calidad del CDAS. La luz blanca a 6 000 y 5 000 luxes presentaron un grosor de tallo de 1.24 y 1.23 mm cumpliendo con los estándares de calidad de plántula para laboratorio. Los medios y ápices de segmento nodal tuvieron un comportamiento similar en las tres variables, pero se recomendarían los ápices ya que su calidad de raíz fue aceptable.

Análisis prospectivo

La papa es una especie que muestra gran adaptación a distintas condiciones de clima y suelo, por lo que tiene gran potencial de rendimiento aun en las sierras y valles altos de México. Su adaptabilidad a ambientes marginales, su contribución a la alimentación de los pequeños productores, su flexibilidad en los sistemas agrícolas y sus usos múltiples hacen de este cultivo un componente importante de una estrategia que contribuye a mejorar el bienestar de las comunidades rurales y a vincular a los pequeños productores con los mercados. Sin embargo, actualmente tienen serios problemas con el abastecimiento de la semilla de calidad. El tubérculo semilla es fácil de sembrar y las plántulas provenientes de éste crecen rápida y vigorosamente, pero los problemas fitosanitarios asociados a su propagación han limitado la adopción y expansión del cultivo especialmente en países en desarrollo como México.

Los tubérculos son caros, con frecuencia son importados, y representan más de la mitad del costo total de la producción y son los principales portadores de enfermedades y plagas que reducen los rendimientos considerablemente. Adicionalmente los tubérculos son perecederos, voluminosos y difíciles de transportar a áreas distantes y requieren de estructuras especiales y costosas para su almacenamiento. En el contexto anterior, el Sistema Autotrófico Hidropónico (SAH) constituye una opción viable importante en relación con el modelo rígido de producción, basado en el empleo del tubérculo-semilla de papa. Esta tecnología, implementada por el Laboratorio de Cultivo de Tejidos del Centro de Investigación y Desarrollo Agrícola de la empresa Sabritas (CDAS), permite producir sus propias plantas *in vitro* sin necesidad de un sofisticado laboratorio o de equipamiento costoso; además, permite producir una mayor cantidad de plántulas en menor tiempo. A partir de 100 tubos *in vitro* se obtienen 20 000 plántulas en un mes; en este sentido, se tiene producción de plántula todo el año. En este estudio se evaluaron cinco variedades de papa, de las cuales Atlantic y Fianna respondieron mejor al SAH. Esta tecnología se usa para producir semilla de calidad y tener un control fitosanitario eficiente al utilizar segmentos de tejidos provenientes de cultivo *in vitro*. En este trabajo se manejaron dos tipos de segmentos nodales (medios y ápices) y los resultados fueron similares. Estos resultados sugieren que, debido a que el crecimiento de los segmentos se obtiene sin agregar sacarosa ni reguladores del crecimiento, existe un rápido enraizamiento y buen crecimiento de los microesquejes en los domos con el sustrato y hacen posible el corte sucesivo de estos materiales. De esta manera se pueden multiplicar las plántulas de papa de manera similar a la micropropagación, pero en un sistema semejante al utilizado en hidroponía. El método de propagación reduce al mínimo las pérdidas debidas a la contaminación y al estrés ocasionado por el trasplante en el invernadero.



Bibliografía

- Benavides, A. y H. Ramírez (2002). *Respuestas de las plantas a la radiación electromagnética*. Departamento de Horticultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. <<http://dradalbertobenavides.com/arti/luzfisio.htm>>, (12 de octubre de 2010).
- Berman, M. (1990). "El problema de la comercialización. La papa motor de evaluación de otros cultivos Perote. Crisis en la producción de papa". *Ciencia Tecnología y Humanidades*. Vol. 36.
- Colindres, C. E. (1999). *Monografía Municipal*. San Antonio la Isla (inédita).
- Escobar, V. (2000). "La iluminación", <<http://www.laatlantifda.com/5artic/iluminación.htm>>, (12 de noviembre de 2010).
- FAOSTAT (2008). Base de datos estadísticos de la FAO. <<http://www.Potato2008.org/es/mundo/index.html>>, (9 de octubre de 2010).

- Kubota, C. y T. Kozai (1992). "Growth and Net Photosynthetic Rate of Solanum tuberosum In Vitro Underforced and Natural Ventilation", *Hort Science*. Vol. 27, Núm. 12.
- Martínez, G. A. (1988). *Diseños experimentales. Métodos y elementos de teoría*. Trillas, Distrito Federal, México.
- Miyashita, Y.; Y. Kitaya; T. Kozai y T. Y. Kimura (1997). "Effects of Red and Far-red Light on the Growth and Morphology of Potato Plantlets in vitro: Using Light Emitting Diode as a Light Source for Micropropagation", *Acta Horticulturae*. Vol. 393.
- Montoya, H. y L. Marina (1991). *Cultivo de tejidos vegetales*. Universidad Nacional de Colombia Seccional Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Departamento de Agronomía. Medellín, Colombia.
- Pérez-López, D. J.; L. M. Vázquez-García; J. Sahagún-Castellanos y A. Rivera-Peña (2007). "Variabilidad y caracterización de diez variedades de papa en tres localidades del Estado de México", *Revista Chapingo*. Serie Horticultura. Vol. 13, Núm. 1.
- Pérez, L. D. J.; O. Y. Salazar; H. A. González; M. O. Franco; M. A. Balbuena y R. F. Gutiérrez (2011). "Estudio de diez híbridos de papa en invernadero", *Ciencias Agrícolas Informa*. Vol. 20, Núm. 1.
- Rigato, S.; A. González y M. Huarte (2001). "Producción de plántulas de papa a partir de técnicas combinadas de micropropagación e hidroponía para la obtención de semilla prebásica", *Revista Latinoamericana de la Papa*. Vol. 12.
- Rousselle, P.; Y. Robert, y J. C. Crosnier (1999). *La patata: producción, mejora, plagas, enfermedades, utilización*. Mateo Box J. M. (trad.). Mundi-Prensa, Madrid.
- Salisbury, F., y C. Ross (1994). *Fisiología vegetal*. Grupo Editorial Iberoamericana S. A. México.
- Scott, G.; M. Rosegrant y C. Ringler (2000). *Raíces y tubérculos para el siglo 21; tendencias, proyecciones y opciones políticas*. Washington. D. C. Instituto Internacional en Investigación y Políticas Alimentarias.
- Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) (2000). *Guía técnica para la descripción varietal en papa (Solanum tuberosum L.)*. Sagarpa, México.
- Toledo, A. (2004). "Introducción al cultivo de la papa". <<http://www.biblioteca.uct.cl/Tesis-Toledo/pdf>>, (10 de enero de 2011).



Andrea Zelaya Freyman

Paisajes y desnudos



Representaciones retóricas



Título: transgresión
Soporte: lienzo
Técnica: acrílico



Título: despierta
Soporte: madera
Técnica: acrílico



Título: autorretrato
Soporte: madera
Técnica: acrílico



Título: espera
Soporte: lienzo
Técnica: acrílico