

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BÁSICAS



Propagación *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna, a partir de segmentos nodales

Por:

**RUTH LÓPEZ LÓPEZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA**

Saltillo, Coahuila, México

Noviembre, 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BÁSICAS

Propagación *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna, a partir de segmentos nodales

Por:

**RUTH LÓPEZ LÓPEZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA**

Aprobada por el Comité de Asesoría:

---

**Dra. Elda Barbarita Companioni González**  
Asesor Principal Interno

---

**Dr. Aroldo Cisneros Peña**  
Asesor Principal Externo

---

**Dr. Antonio Juárez Maldonado**  
Coasesor

---

**Dr. Luis Enrique Flores Jiménez**  
Coasesor

Saltillo, Coahuila, México.  
Noviembre, 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BÁSICAS

Propagación *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna, a partir de segmentos nodales

POR:

**RUTH LÓPEZ LÓPEZ**

TESIS

Que somete a la consideración H. Jurador Examinador como requisito para obtener el título de:

**INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA**

Aprobada por:



**Dra. Eida Barbarita Companioni González**  
Asesor Principal Interno



**Dr. Aroldo Cisneros Peña**  
Asesor Principal Externo



**Dr. Antonio Juárez Maldonado**  
Coasesor



**Dr. Luis Enrique Flores Jiménez**  
Coasesor



**M.C. Sergio Sánchez Martínez**  
Coordinador de la División de Ingeniería

Saltillo, Coahuila, México.

Noviembre, 2025

## **Derechos de Autor y Declaración de no plagio**

Todo material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor de los Estados Unidos Mexicanos, y pertenece al autor principal quien es el responsable directo y jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente. Así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Por lo anterior nos responsabilizamos de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaramos que este trabajo no ha sido previamente presentado en ninguna otra institución educativa, organización, medio público o privado.



---

Ruth López López  
Autor Principal



---

Dra. Barbarita Companioni González  
Asesor Principal Interno

## **AGRADECIMIENTOS**

**A Dios** por ser mi guía en todo momento y darme las fuerzas para seguir adelante. Por las bendiciones que me dio y por la sabiduría necesaria para enfrentar cada obstáculo.

**A mis padres**, Jacobo Humberto López Feria y Josefina Isidra López García (†), por su apoyo y por su amor incondicional. Por motivarme a ser mejor persona. Ser el impulso para cumplir cada logro y por los sacrificios que hicieron por mí, para llegar a estar en donde estoy. A ustedes les debo todo.

**A mis hermanos**, Hilda, Efraín, Oscar, Madaí, Aurora, Gloria, por cuidarme, aconsejarme, acompañarme, por el amor, las risas, por las palabras de aliento que me han dado siempre, por los sacrificios que hicieron por mí, por nunca dejarme sola y saber que cuento con ustedes en todo momento. Este logro es también para ustedes, han sido mi mayor motivación y sin su apoyo este camino hubiera sido más difícil, siempre estaré agradecida con Dios por darme unos hermanos maravillosos. Gracias por caminar a mi lado y ser un refugio seguro en donde siempre puedo volver.

**A mis sobrinos**, Yurem, Josefina, Valeria, Vanessa, Mateo, Abril e Iliana, Gracias por ser una fuente constante de alegría, ternura e inspiración.

**A mi asesora principal**, Dra. Barbarita Gracias por su dedicación, orientación y paciencia, para el desarrollo de este documento. Agradezco profundamente su calidad humana y el compromiso con mi crecimiento. Sin ella no lo hubiera logrado.

**Al Dr**, Aroldo Cisneros por apoyarme en este documento, le agradezco de corazón.

**A mis amigas**, Ing. Ximena, Ing. Jennifer, Ing. María Guadalupe, gracias por acompañarme en cada paso y celebrar conmigo cada uno de mis logros. Por su amistad y apoyo incondicional. Por las palabras de aliento, consejos y por el cariño que siempre me brindaron, porque ustedes hicieron este trayecto mucho más llevadero.

**A Javier** Argüelles Gutiérrez, por ser mi compañero y apoyarme en esta última etapa. En cada momento de duda, tus palabras de aliento me recordaron de lo que soy capaz. Y me impulsaste a seguir adelante.

## **DEDICATORIA**

A mi padre y mis hermanos porque este logro no solo es un reflejo de mi esfuerzo, sino también del amor, la paciencia y el respaldo que me dieron en cada paso. Son las personas más importantes de mi vida, y siempre les agradeceré profundamente. Los quiero con todo mí ser.

A mí querida madre, porque siempre estuviste conmigo, en mi corazón y en mi memoria. Me acompañaste en cada paso que di, me diste fuerza para seguir adelante. Este logro y esfuerzo también es tuyo. Siéntete orgullosa en donde quiera que estés.

A mi bolita de plumas Coti, por ser mi fiel compañera en los trece años de tu vida, por ser ese rayito de sol en mi vida y acompañarme en los momentos más difíciles, porque tú sola presencia me animaba. Siempre estarás en mi memoria.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido	Página
<b>RESUMEN</b> .....	<b>X</b>
<b>1.0 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>OBJETIVOS:</b> .....	<b>3</b>
Objetivo General.....	3
Objetivos Específicos .....	3
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>3</b>
<b>2.0 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>4</b>
<b>2.1 Sistemática e importancia económica en el cultivo de la papa</b> .....	<b>4</b>
<b>2.2 Situación actual en la producción y comercialización del cultivo <i>Solanum tuberosum</i> L. en México</b> .....	<b>8</b>
<b>2.3 Principales enfermedades que afectan el cultivo <i>Solanum tuberosum</i> L., y métodos de control sanitario en el cultivo</b> .....	<b>12</b>
<b>2.4 Métodos de propagación de <i>Solanum tuberosum</i> L.</b> .....	<b>15</b>
<b>2.5 Utilización de las técnicas biotecnológicas para la producción de plantas <i>in vitro</i> y microtubérculos de <i>Solanum tuberosum</i> L.</b> .....	<b>17</b>
<b>3.0 MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>19</b>
3.0.1 Generalidades de los experimentos .....	19
<b>3.1 Establecimiento <i>in vitro</i> de <i>Solanum tuberosum</i> L. variedad Fianna</b> .....	<b>19</b>
<b>3.2 Multiplicación <i>in vitro</i> de <i>Solanum tuberosum</i> L. variedad Fianna</b> .....	<b>20</b>
<b>3.3 Efecto de diferentes concentraciones de sacarosa en la etapa de crecimiento <i>in vitro</i> de <i>Solanum tuberosum</i> L. variedad Fianna</b> .....	<b>22</b>
<b>3.4 Enraizamiento <i>in vitro</i> de <i>Solanum tuberosum</i> L. variedad Fianna</b> .....	<b>23</b>
3.4.1 Influencia de la concentración y el tipo de reguladores del crecimiento en la fase de enraizamiento de <i>Solanum tuberosum</i> L. variedad Fianna.....	23

<b>3.5 Aclimatación de plantas <i>in vitro</i> <i>Solanum tuberosum</i> L. variedad Fianna.....</b>	<b>23</b>
<b>4.0 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>25</b>
<b>4.1 Establecimiento <i>in vitro</i> de <i>Solanum tuberosum</i> L. variedad Fianna .....</b>	<b>25</b>
<b>4.2 Multiplicación <i>in vitro</i> de <i>Solanum tuberosum</i> L. variedad Fianna .....</b>	<b>26</b>
<i>4.2.1 Efecto de las regulaciones hormonales en la etapa de multiplicación in vitro de Solanum tuberosum L. variedad Fianna .....</i>	<i>26</i>
<b>4.3 Efecto de diferentes concentraciones de sacarosa en la etapa de crecimiento <i>in vitro</i> de <i>Solanum tuberosum</i> L. variedad Fianna.....</b>	<b>30</b>
<b>4.4 Enraizamiento <i>in vitro</i> de <i>Solanum tuberosum</i> L. variedad Fianna .....</b>	<b>35</b>
<i>4.4.1 Influencia de la concentración y el tipo de reguladores del crecimiento en la fase de enraizamiento de Solanum tuberosum L. variedad Fianna.....</i>	<i>35</i>
<b>4.5 Aclimatación <i>ex vitro</i> de las vitroplantas de <i>Solanum tuberosum</i> L. variedad Fianna .....</b>	<b>39</b>
<b>5.0 CONCLUSIONES.....</b>	<b>41</b>
<b>6.0 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>	<b>42</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Producción anual nacional de papa en México de acuerdo al SIAP (2023). .....	<b>9</b>
<b>Cuadro 2.</b> Producción de papa en el estado de Coahuila de acuerdo al SIAP (2023).....	<b>10</b>
<b>Cuadro 3.</b> Tratamientos evaluados en la fase de multiplicación <i>in vitro</i> de explantes de la variedad Fianna.....	<b>21</b>
<b>Cuadro 4.</b> Aclimatación de las plántulas de <i>Solanum tuberosum</i> L. variedad Fianna mediante la evaluación de diferentes parámetros.....	<b>40</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Morfología de la planta de papa según CIP (2018). .....	<b>6</b>
<b>Figura 2.</b> Medición de la altura de la plántula desde la base del tallo hasta el meristemo apical .....	<b>22</b>
<b>Figura 3.</b> Efecto de la concentración de 6- bencilaminopurina (6-BAP) en la brotación de yemas, en el establecimiento <i>in vitro</i> de <i>Solanum tuberosum</i> L. variedad Fianna. ....	<b>25</b>
<b>Figura 4.</b> Efecto de las regulaciones hormonales en la producción de nudos en el tallo principal y los tallos secundarios, en la etapa de multiplicación <i>in vitro</i> de <i>Solanum tuberosum</i> L. variedad Fianna.....	<b>27</b>
<b>Figura 5.</b> Características de los brotes <i>in vitro</i> de <i>Solanum tuberosum</i> L. variedad Fianna en las diferentes concentraciones de regulaciones hormonales en la etapa de multiplicación <i>in vitro</i> .....	<b>28</b>
<b>Figura 6.</b> Efecto de las regulaciones hormonales en la altura de las plántulas en la etapa de multiplicación <i>in vitro</i> de <i>Solanum tuberosum</i> L. variedad Fianna .....	<b>29</b>
<b>Figura 7.</b> Efecto de las regulaciones hormonales en el número de hojas emitidas por las plántulas en la etapa de multiplicación <i>in vitro</i> de <i>Solanum tuberosum</i> L. variedad Fianna. ...	<b>30</b>
<b>Figura 8.</b> Efecto de diferentes concentraciones de sacarosa sobre la altura de las plántulas en la etapa de crecimiento <i>in vitro</i> de <i>Solanum tuberosum</i> L. variedad Fianna.....	<b>31</b>
<b>Figura 9.</b> Efecto de diferentes concentraciones de sacarosa sobre el número de hojas emitidas y los nudos en las plántulas en la etapa de crecimiento <i>in vitro</i> de <i>Solanum tuberosum</i> L. variedad Fianna. ....	<b>32</b>
<b>Figura 10.</b> Efecto de diferentes concentraciones de sacarosa sobre el enraizamiento de las plántulas en la etapa de crecimiento <i>in vitro</i> de <i>Solanum tuberosum</i> L. variedad Fianna. ....	<b>33</b>
<b>Figura 11.</b> Efecto de diferentes concentraciones de sacarosa sobre la longitud de la raíz principal de las plántulas en la etapa de crecimiento <i>in vitro</i> de <i>Solanum tuberosum</i> L. variedad Fianna.....	<b>33</b>
<b>Figura 12.</b> Influencia de la concentración y el tipo de reguladores del crecimiento sobre la altura de las plántulas en la etapa de enraizamiento de <i>Solanum tuberosum</i> L. variedad Fianna.....	<b>35</b>

**Figura 13.** Características de las plántulas en las diferentes concentraciones y tipo de reguladores del crecimiento en la etapa de enraizamiento *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna..... **36**

**Figura 14.** Influencia de la concentración y el tipo de reguladores del crecimiento sobre el número de nudos en las plántulas en la etapa de enraizamiento *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna.. ..... **36**

**Figura 15.** Influencia de la concentración y el tipo de reguladores del crecimiento sobre el número de raíces por plántula en la etapa de enraizamiento *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna. .... **37**

**Figura 16.** Influencia de la concentración y el tipo de reguladores del crecimiento sobre la longitud promedio de las raíces en las plántulas en la etapa de enraizamiento *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna..... **38**

**Figura 17.** Manejo de las plántulas de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna en la etapa de aclimatación..... **40**



## RESUMEN

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es un alimento fundamental en la alimentación de los mexicanos, así como también lo son otros cultivos básicos, entre ellos el arroz, frijol, maíz y trigo. Sin embargo, la producción se ve restringida por la baja calidad fitosanitaria de las semillas, que es el principal medio de propagación inicial de varias enfermedades que impactan en el cultivo. Por esta razón, se vuelve imprescindible trabajar en el desarrollo de tecnologías nuevas e innovadoras en la agricultura que posibiliten una propagación masiva y sustentable de material de plantación con gran calidad y uniformidad genética. El propósito de la investigación que se presenta a continuación fue desarrollar un protocolo para la multiplicación *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna, utilizando segmentos nodales como base. Para este propósito, se emplearon tubérculos-semillas de la variedad Fianna (*Solanum tuberosum* L.) que estaban certificados. El Centro de Investigación Región Noreste del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) hizo la donación. Después de interpretar y discutir los resultados de este experimento, se logró establecer la papa variedad "Fianna" bajo condiciones de cultivo *in vitro*. Para ello, se detectó una distinción significativa entre los tratamientos analizados en cada fase de desarrollo del cultivo *in vitro*. Por otro lado, en los periodos de multiplicación, crecimiento y desarrollo *in vitro*, la reacción de los tejidos vegetales estuvo marcada por un efecto positivo de las sustancias reguladoras del crecimiento vegetal y los elementos del medio de cultivo. En particular, para el 6-bencilaminopurina (BAP) y la sacarosa como fuente primordial de energía. En cambio, en el período de enraizamiento *in vitro*, los resultados más favorables fueron alcanzados con la terapia que contenía al ácido indol-3-butírico (AIB) como principal auxina estimulante de la formación de raíces. Finalmente, se logró una alta proporción de plántulas aclimatadas, lo que demuestra que esta técnica es factible para producir plántulas de papa variedad "Fianna" con un elevado nivel de homogeneidad genética y calidad. Estas plántulas pueden ser utilizadas como semilla pre-básica para sembrar en el campo.

**Palabras clave:** cultivo *in vitro*, plántulas, variedades de papa, aclimatación.



## 1.0 INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum* L.) se reconoce como uno de los cultivos de mayor importancia estratégica, tanto en países industrializados como en aquellos en proceso de desarrollo, debido a su relevancia económica y alimentaria. Su valor nutritivo lo posiciona como un alimento fundamental para enfrentar los desafíos asociados al hambre y la desnutrición (Castro *et al.*, 2012). Por otra parte, su rendimiento por unidad de superficie supera al de otros cultivos básicos tales como: arroz y maíz (CIP, 2024). Lo cual permite abastecer a un amplio sector de la población (Coleman *et al.*, 2001).

En México, la papa ocupa el quinto lugar en importancia alimentaria, por debajo del maíz, trigo, frijol y arroz (García-Ávila *et al.*, 2018). Diversas regiones del país se dedican a su producción, entre ellas encontramos: Baja California Norte, Coahuila, Chihuahua, Guanajuato, Nuevo León, Michoacán, Puebla, Tlaxcala, Sinaloa, Sonora, Estado de México, Veracruz, Querétaro y Zacatecas. En 2019, la producción nacional superó 1.78 millones de toneladas, y Sonora ocupó la segunda mayor superficie de cosecha, con más de 469 mil toneladas (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020). No obstante, la capacidad nacional para producir semilla certificada de papa sigue siendo insuficiente.

La producción del cultivo también enfrenta importantes problemas fitopatológicos. La utilización de semilla de baja calidad fitosanitaria representa la principal vía de introducción de patógenos. En especial, la enfermedad conocida como Punta Morada de la Papa (PMP) la cual es una enfermedad viral y aquellas causadas por fitoplasmas. En este caso, esta enfermedad se considera como la más importante en el cultivo en el país, después de la enfermedad conocida como el tizón tardío, (Almeyda-León *et al.*, 2008). La PMP causada por fitoplasmas representa una enfermedad de carácter global que compromete los cultivos en regiones de América, Europa, Asia y Australia (Maramorosch, 1998). En México se detectó por primera vez en 1948 y en un inicio se clasificó como un problema de baja importancia. Sin embargo, en los últimos diez años su incidencia ha aumentado de manera acelerada, afectando hasta el 70 % de la superficie sembrada en el país, así como una proporción

considerable de las zonas paperas de Coahuila y Nuevo León (Cadena *et al.*, 2003; Flores *et al.*, 2008).

Aunque en México se han desarrollado diversas estrategias para el manejo de la PMP, entre las que destacan la incorporación de resistencia genética en las variedades; la aplicación de insecticidas y la implementación de prácticas culturales (Cadena y Galindo, 1985; Cadena, 1987; Cadena, 1999). Por otro lado, se han desarrollado métodos diagnósticos basados en la Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR) para la identificación de fitoplasmas en las plantas (Almeyda *et al.*, 2001; Cevallos *et al.*, 2001; Leyva y Martínez, 2001). En este sentido, los productores de algunas regiones en el país aplican entre 30 y 50 tratamientos insecticidas por ciclo de cultivo para controlar a los principales vectores (Parga *et al.*, 2008). Lo cual incrementa los costos de producción y representa riesgos de contaminación ambiental y de afectaciones a la salud humana. Por ello, es prioritario desarrollar tecnologías innovadoras que permitan la propagación masiva y sostenible de material de siembra de alta calidad.

El éxito de los métodos de propagación mediante la biotecnología vegetal se fundamenta en la capacidad de obtener un gran número de plantas con elevada calidad genética y fitosanitaria, en períodos cortos y en condiciones controladas durante cualquier época del año (Daquinta *et al.*, 2001; Etienne y Berthouly, 2002; Jiménez *et al.*, 2004). El cultivo de papa en México es un componente esencial de la alimentación nacional; sin embargo, las plantaciones requieren grandes cantidades de semilla básica, y la producción mediante semillas botánicas no resulta viable debido a las limitaciones del proceso reproductivo, que involucra fertilización, embriogénesis y desarrollo del endospermo. Por ello, se hace necesario desarrollar tecnologías que permitan una propagación masiva y sostenible de material de plantación con elevada calidad y homogeneidad genética, tanto para el estado de Coahuila como para el resto del país. En este contexto, la biotecnología vegetal, y específicamente el cultivo de tejidos *in vitro*, constituye una herramienta fundamental para la producción de semilla básica que satisfaga la creciente demanda actual. Con base en lo anterior, la presente investigación se orientó a comprobar la siguiente hipótesis: La producción de semilla

básica de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna, con alta calidad y homogeneidad genética, es posible mediante el cultivo de tejidos *in vitro* o micropropagación, logrando el desarrollo de plántulas sanas y completas mediante técnicas biotecnológicas, sin alteraciones fenotípicas en la progenie.

## **OBJETIVOS:**

### **Objetivo General**

- Desarrollar un protocolo para la micropropagación de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna, a partir de segmentos nodales.

### **Objetivos Específicos**

1. Obtener un protocolo para la desinfección y establecimiento *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna.
2. Lograr un protocolo para la multiplicación *in vitro* de la variedad Fianna.
3. Lograr la aclimatación de brotes *in vitro*.

## **JUSTIFICACIÓN**

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es un alimento básico en la dieta del mexicano, junto con el maíz, frijol, trigo y arroz. Sin embargo, su producción se ve afectada por la calidad fitosanitaria deficiente de la semilla, la cual constituye la principal fuente de inóculo para diversas enfermedades, especialmente la Punta Morada de la Papa (PMP), considerada después del tizón tardío la enfermedad más importante del cultivo a nivel regional y nacional. Esta problemática evidencia la necesidad de desarrollar alternativas biotecnológicas que permitan mejorar la calidad del material de siembra y fortalecer la producción nacional.

## 2.0 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Sistemática e importancia económica en el cultivo de la papa

*Solanum tuberosum* L., conocida comúnmente como papa, tiene su origen en las zonas altoandinas de Sudamérica, según el Centro Internacional de la Papa (CIP, 2009). Este cultivo ha formado parte de la dieta humana por más de 8000 años, y su domesticación inicial se sitúa en la región del lago Titicaca, entre el sur de Perú y el noroeste de Bolivia, hace aproximadamente 6000 años. Esta área es considerada el principal centro de diversidad genética del cultivo, ya que alberga una gran cantidad de especies nativas. Desde esta región, la papa se expandió a lo largo de la cordillera de los Andes, ocupando principalmente zonas altas de países como Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y Chile. La llegada de los colonizadores españoles en el siglo XVI constituyó un hito histórico en la difusión de la papa al facilitar su introducción en Europa. Aunque inicialmente enfrentó resistencia cultural, para el siglo XIX el cultivo ya se había difundido ampliamente en el continente europeo y posteriormente en otras regiones del mundo. Su rápida adopción global se atribuye a varios factores: su capacidad de adaptarse a diversos climas y altitudes, su facilidad de cultivo, su alto rendimiento por unidad de superficie y su valor nutricional. La papa es una fuente destacada de carbohidratos, vitaminas como la vitamina C y las del complejo B, minerales como el potasio, y compuestos antioxidantes. Como resalta Borba (2008), se consolidó como un alimento accesible, versátil y esencial para la seguridad alimentaria de múltiples países. En los momentos actuales, el cultivo de la papa constituye uno de los cultivos alimentarios más relevantes a nivel global, no solo por su historia y diversidad genética, sino también por su potencial dentro de sistemas agrícolas sostenibles y por su contribución a la nutrición humana.

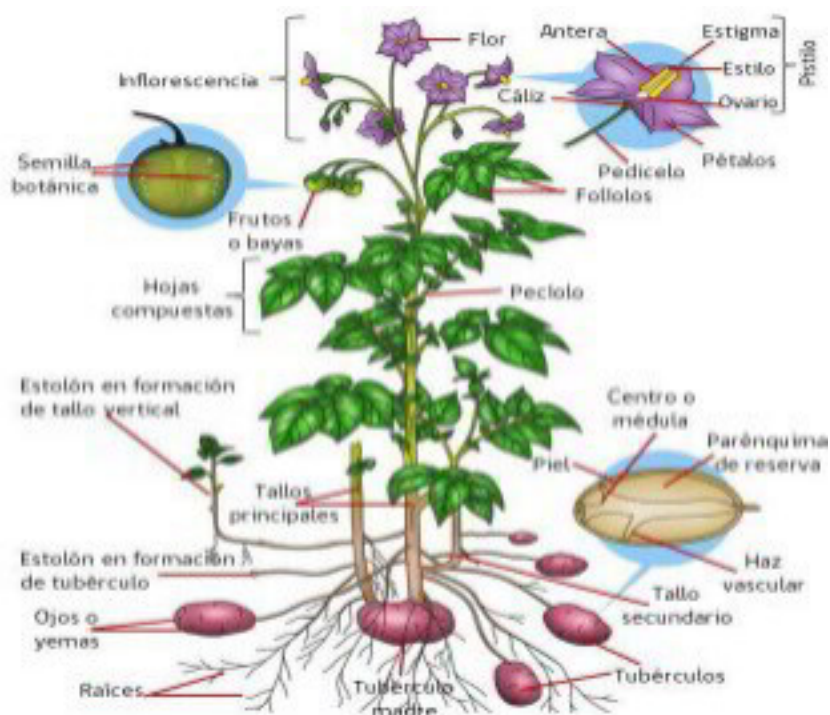
La papa es una planta herbácea que presenta un sistema aéreo compuesto por inflorescencias, hojas compuestas, tallos y frutos en forma de baya que contienen numerosas semillas botánicas, aunque estas generalmente no se utilizan en la propagación comercial. Su sistema subterráneo está integrado por raíces fibrosas, estolones (tallos modificados que crecen horizontalmente bajo el suelo) y tubérculos, que constituyen el principal órgano de reserva. Los tubérculos, estructuras engrosadas que almacenan almidón y otros nutrientes, representan la parte comestible de mayor

valor y son el medio más empleado para la reproducción vegetativa del cultivo (Figura 1) (Martínez *et al.*, 2023). Además de su función fisiológica, estos componentes morfológicos desempeñan un papel estratégico en el desarrollo y adaptación de la planta. El crecimiento y alargamiento de los estolones está influenciado por factores como la temperatura, la duración del fotoperiodo y la fertilidad del suelo, mientras que la formación de tubérculos requiere una compleja interacción entre factores genéticos y ambientales. Gracias a estas características, la papa presenta una gran plasticidad fenotípica, lo que le permite cultivarse en ambientes tan contrastantes como regiones tropicales, zonas templadas y altitudes elevadas.

La clasificación taxonómica de las especies silvestres y cultivadas de *Solanum* continúa siendo un reto debido a su complejidad. Esta dificultad se debe en gran medida a la amplia diversidad morfológica que presentan muchas de sus especies, las cuales, pese a mostrar diferencias visibles, conservan la capacidad de cruzarse de forma natural cuando coexisten en un mismo entorno. Esta facilidad de hibridación genera alta variabilidad genética y dificulta la delimitación taxonómica precisa (Spooner y Salas, 2006; Spooner *et al.*, 2007). A pesar de la enorme diversidad disponible, la producción comercial de papa se basa principalmente en dos subespecies de *S. tuberosum* (Huamán, 2007): *S. tuberosum* subsp. *andigenum* y *S. tuberosum* subsp. *tuberosum*. La subespecie *andigenum* está adaptada a condiciones de fotoperiodo corto, lo que limita su cultivo a regiones andinas donde el clima y la altitud favorecen su desarrollo. Representa una valiosa fuente de variabilidad genética, especialmente en resistencia a plagas y enfermedades, por lo que ha sido esencial en la conservación de variedades nativas tradicionales. En contraste, la subespecie *tuberosum* se cultiva globalmente. Esta subespecie se desarrolló a partir de selecciones adaptadas a días largos y climas templados, permitiendo su establecimiento en latitudes medias y altas, principalmente en Europa, América del Norte y Asia. Constituye la base de la mayoría de las variedades comerciales modernas debido a su mayor productividad y uniformidad, características indispensables en la agricultura intensiva (Rodríguez, 2010).

Los avances en genética y biotecnología han permitido mejorar ambas subespecies a través de programas de mejoramiento que buscan combinar la rusticidad y

adaptabilidad de *andigenum* con la productividad y versatilidad de *tuberosum*. Estos esfuerzos son fundamentales para desarrollar cultivares mejor adaptados a las condiciones cambiantes del clima y a nuevas presiones bióticas. Según Hawkes (1990), la clasificación taxonómica de la papa se estructura de la siguiente manera: pertenece al tipo *Spermatophyta*, dentro de la clase *Angiospermas* y la subclase *Dicotiledóneas*. Su orden es *Tubiflorae* y forma parte de la familia *Solanaceae*. Dentro de esta familia, se ubica en el género *Solanum*, especie *tuberosum*, subdividida en las subespecies *andigenum* y *tuberosum*.



**Figura 1.** Morfología de la planta de papa según CIP (2018).

La variedad de papa Fianna tiene su origen en los Países Bajos. Esta variedad destaca por las características morfológicas de su tubérculo: forma ovalada y alargada, tamaño grande a muy grande, piel amarilla y pulpa amarillo claro. Además, su alto contenido de materia seca la hace especialmente adecuada tanto para el consumo directo como para la elaboración de chips. Fianna también sobresale por su elevada productividad y su periodo de maduración semitardío. En cuanto a las características morfológicas de la planta, presenta un follaje de moderado a denso, produce flores

blancas y sus brotes se distinguen por una coloración azulada. Desde el punto de vista fitosanitario, esta variedad muestra resistencia al Virus del Enrollamiento de la Hoja de la Papa (PLRV) y a la Sarna Común, además de una tolerancia considerable a *Phytophthora infestans* y al Virus PVY (NIVAP, 2011).

*Solanum tuberosum* L. ocupa el cuarto lugar entre los cultivos agrícolas de mayor importancia a nivel mundial, precedida únicamente por el trigo (*Triticum aestivum* L.), el arroz (*Oryza sativa* L.) y el maíz (*Zea mays* L.). Este cultivo se caracteriza por su elevada eficiencia en la producción de alimentos por unidad de superficie, superando en este aspecto al arroz y al maíz, lo que lo convierte en un componente fundamental para garantizar la seguridad alimentaria de una amplia proporción de la población mundial (Vignola *et al.*, 2017).

La papa es además una fuente esencial de carbohidratos de fácil digestión, proteínas de buena calidad y una amplia variedad de nutrientes indispensables para la salud humana. Por ejemplo, una porción de 150 gramos de tubérculo aporta aproximadamente el 45 % de la ingesta diaria recomendada de vitamina C, cerca del 10 % de vitamina B6, alrededor del 8 % de niacina y un 6 % de folato. Asimismo, proporciona cantidades relevantes de minerales como potasio, magnesio e hierro, los cuales desempeñan funciones clave en el metabolismo y en el mantenimiento del equilibrio electrolítico. Además, contiene compuestos antioxidantes asociados con la disminución del riesgo de enfermedades crónicas, como enfermedades cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020).

Debido a este destacado perfil nutricional, la papa no solo constituye un alimento energético, sino también un elemento fundamental para la seguridad alimentaria y la nutrición global, especialmente en regiones donde el acceso a una dieta variada es limitado. La producción de este cultivo genera fuerza de empleo a lo largo de toda su cadena productiva. Por otra parte, contribuye de manera significativa a la industria alimentaria, debido a su amplio uso en productos procesados. Por otro lado, su exportación representa una importante fuente de ingresos para numerosos países, dada la alta demanda internacional. En los países en desarrollo, este cultivo se considera un cultivo estratégico por su rentabilidad y elevado rendimiento. No

obstante, el déficit alimentario mundial plantea el desafío de ampliar la superficie cultivada y mejorar la productividad por hectárea para satisfacer la creciente demanda global.

## **2.2 Situación actual en la producción y comercialización del cultivo *Solanum tuberosum* L. en México**

La producción de papa constituye una de las actividades agrícolas más relevantes en diversas regiones del país, aspecto dado a su tubérculo. El cual representa un alimento básico de alta demanda tanto en el país como a nivel mundial. El rendimiento del cultivo está estrechamente vinculado a factores agronómicos como las condiciones climáticas, la disponibilidad y manejo del riego, así como la aplicación adecuada de fertilizantes, los cuales determinan de manera directa la productividad del sistema agrícola.

En México, *Solanum tuberosum* L. se cultiva en 22 estados. Durante 2023, la producción nacional alcanzó 1,986,198.81 toneladas, lo que representa un incremento del 6 % respecto a 2022, año en el que se registraron 1,878,976 toneladas (Cuadro 1). Este incremento refleja la consolidación del cultivo en zonas con mayor tecnificación y condiciones agroecológicas favorables.

Entre las entidades federativas destacadas se encuentran Sonora, Sinaloa y Veracruz. Sonora se posiciona como el principal productor a nivel nacional, con una contribución aproximada del 30 % de la producción total. Este liderazgo se atribuye a la disponibilidad de amplias superficies agrícolas, un manejo tecnificado del recurso hídrico y un clima propicio que permite mantener rendimientos elevados y constantes. Por su parte, Sinaloa ocupa el segundo lugar en importancia productiva, aportando el 21.52 % del volumen nacional, gracias a su infraestructura agrícola y a la incorporación de prácticas de producción intensiva.

En cuanto al estado de Coahuila, la producción registrada en 2023 fue de 9,960.94 toneladas, con una superficie cosechada de 277 hectáreas (Cuadro 2), de acuerdo con información del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2023). Estos datos evidencian que, aunque Coahuila no se encuentra entre los principales

productores del país, su aporte es significativo dentro del contexto regional y su desarrollo productivo depende principalmente de la tecnificación y mejora continua de las prácticas de manejo.

**Cuadro 1.** Producción anual nacional de papa en México de acuerdo al SIAP (2023).

	Entidad	Superficie (ha)			Producción (t/ha)
		Sembrada	Cosechada	Siniestrada	
1	Baja California Sur	2,435.00	2,435.00	0	73,488.75
2	Coahuila	277	277	0	9,960.94
3	Chiapas	1,902.20	1,902.20	0	30,314.97
4	Chihuahua	1,721.00	1,474.00	247	45,279.34
5	Ciudad de México	791	791	0	28,963.27
6	Durango	455	385	70	5,849.17
7	Guanajuato	530	530	0	26,180.00
8	Hidalgo	17.5	17.5	0	225.65
9	Jalisco	1,924.00	1,924.00	0	65,366.80
10	México	5,787.30	5,787.30	0	168,750.23
11	Michoacán	1,854.00	1,854.00	0	55,501.39
12	Morelos	93	93	0	2,150.16
13	Nuevo León	2,554.00	2,554.00	0	107,597.60
14	Oaxaca	95.3	95.3	0	926.48
15	Puebla	5,665.72	5,665.72	0	136,700.46
16	San Luis Potosí	5	5	0	110
17	Sinaloa	12,271.15	12,271.15	0	427,587.55
18	Sonora	16,657.54	16,657.54	0	612,600.16
19	Tamaulipas	70	70	0	2,245.00

<b>20</b>	Tlaxcala	517	517	0	9,930.32
<b>21</b>	Veracruz	6,049.94	6,049.94	0	143,725.37
<b>22</b>	Zacatecas	768.33	768.33	0	32,745.20
<b>Total</b>		62,440.98	62,123.98	317	1,986,198.81

**Cuadro 2.** Producción de papa en el estado de Coahuila de acuerdo al SIAP (2023).

	Cultivo	Superficie (ha)			Producción (t/ha)
		Sembrada	Cosechada	Siniestrada	
<b>1</b>	Papa	277	277	0	9,960.94
<b>Total</b>		277	277	0	9,960.94

La producción nacional de papa se realiza bajo prácticas que buscan mantener la fitosanidad de los suelos agrícolas, y de esta manera se apoya a lograr la seguridad alimentaria; y la soberanía nacional. Del volumen total producido, aproximadamente el 28 % se destina a la industria de frituras, el 15 % a la producción especializada de semilla, y el 56 % al mercado fresco. Esta distribución refleja la mejora sustancial en los procesos de producción por parte de los productores, quienes han incorporado prácticas de manejo sostenible y responsabilidad social, así como estrategias de conservación ambiental. Actualmente, se estima que en México existen alrededor de 8,700 productores dedicados al cultivo de papa, generando aproximadamente 17,500 empleos directos y 51,600 indirectos, lo que fortalece la economía regional y nacional (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020).

La semilla constituye un insumo crítico en la producción de papa, y la disponibilidad de material de siembra sano y de alta calidad continúa siendo un desafío para incrementar la productividad. Desde 1982, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ha impulsado programas de producción de

semilla certificada en México, implementando el sistema laboratorio-invernadero-campo, adoptado por algunos productores desde 1988. No obstante, la oferta nacional sigue siendo insuficiente para cubrir la demanda con estándares fitosanitarios óptimos. Entre las variedades con mayor disponibilidad de semilla certificada se encuentran Alpha, Atlantic, Gigant, Mondial, Fianna, Caesar, Vivaldi y Felsina, mientras que otras, como Monserrat, Zafiro, Malinche y Tollocan, presentan una producción más limitada. Históricamente, gran parte de la semilla utilizada en México provenía de Europa, lo que desplazó a numerosas variedades nativas; en la actualidad, fortalecer la producción local de semilla certificada es fundamental para reducir la dependencia externa, mejorar los rendimientos por hectárea y preservar la diversidad genética del cultivo (Arellano *et al.*, 2010).

Durante finales de la década de 1980 y principios de los 90, diversos factores limitaron el comercio de semilla certificada en México, entre ellos, las restricciones a la importación por riesgos fitosanitarios y la entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), que modificó las dinámicas del mercado agrícola. Frente a estos desafíos, se implementaron acciones estratégicas para fortalecer la producción nacional de semilla sana, incluyendo protocolos fitosanitarios más estrictos y la utilización de sistemas de producción bajo condiciones controladas, como invernaderos. Sin embargo, la oferta aún resulta insuficiente para garantizar el acceso de todos los productores a material genético de alta calidad, limitando tanto los rendimientos como la sanidad del cultivo. La ampliación de infraestructura, la optimización de la capacidad instalada y la adopción de tecnologías limpias son medidas prioritarias para alcanzar la autosuficiencia en la producción de semilla certificada en México (Hernández, 2008).

En la región noreste del país, particularmente en los estados de Coahuila y Nuevo León, se han desarrollado infraestructura destinada a la producción de semilla en condiciones controladas. A pesar de ello, la disponibilidad de semilla pre-básica sigue siendo limitada, lo que refleja una cobertura insuficiente frente a la demanda regional. Ante esta situación, algunos productores han invertido en invernaderos privados y complementan su producción mediante la importación de plántulas *in vitro* o minitubérculos, generalmente a costos elevados, incrementando así el precio final de

la semilla. Actualmente, la capacidad instalada en la región apenas cubre cerca del 10 % de la demanda total.

Además de la limitación en la oferta de semilla, el cultivo en esta región enfrenta importantes amenazas fitosanitarias, siendo la enfermedad de Punta Morada, causada por el fitoplasma *Candidatus Phytoplasma*, la más relevante después del tizón tardío (*Phytophthora infestans*). Esta enfermedad es transmitida por vectores como *Bactericera cockerelli* y ha afectado aproximadamente el 70 % de la superficie sembrada de papa en México durante los últimos 15 años, impactando significativamente a los productores de Coahuila y Nuevo León. La presencia de Punta Morada limita la disponibilidad de semilla sana, compromete la sanidad del material vegetal y constituye un desafío crítico para la sostenibilidad del cultivo en la región (Flores y Flores, 2008). Los antecedentes expuestos evidencian la necesidad de desarrollar tecnologías innovadoras que permitan la propagación masiva de papa de manera rápida y eficiente, asegurando la producción sostenible de material de siembra de alta calidad tanto en la región noreste como a nivel nacional. Estas tecnologías son esenciales para garantizar la disponibilidad de semilla certificada, incrementar los rendimientos y fortalecer la seguridad alimentaria.

### **2.3 Principales enfermedades que afectan el cultivo *Solanum tuberosum* L., y métodos de control sanitario en el cultivo**

La producción de papa (*Solanum tuberosum* L.) se ve afectada por una diversidad de problemas fitosanitarios que impactan principalmente las raíces, tubérculos y hojas, limitando el rendimiento y la calidad del cultivo. A nivel mundial, se han registrado aproximadamente 70 enfermedades y desórdenes fisiológicos que generan daños significativos en la producción de este tubérculo (Stevenson, 2001). Entre los factores bióticos, los insectos representan un elemento crítico, ya que actúan como vectores de virus y fitoplasmas, provocando enfermedades severas y afectando de manera directa el valor comercial del producto. Entre los insectos más relevantes se encuentran los psílidos y las chicharritas (familia Cicadellidae), considerados plagas clave a nivel regional y nacional (Almeyda-León *et al.*, 2008). Por esta razón, el manejo integrado

de plagas resulta indispensable para mantener la sanidad del cultivo y garantizar una producción sostenible.

Uno de los principales problemas fitosanitarios en México es la enfermedad denominada Punta Morada de la Papa (PMP), asociada también al complejo *Zebra Chip* (ZC). Esta patología está vinculada con fitoplasmas del grupo *Candidatus Phytoplasma* spp. (CaPhy) y bacterias como *Candidatus Liberibacter solanacearum* (CaLso), agentes que provocan un deterioro significativo en la calidad y rendimiento de los tubérculos. Su distribución geográfica incluye América Central, México, Estados Unidos y Nueva Zelanda (Munyanenza *et al.*, 2007; Munyanenza, 2012).

El principal vector de estos patógenos es el psílido *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Psyllidae), cuya capacidad de transmisión ha sido ampliamente documentada (Almeyda-León *et al.*, 2008; Butler y Trumble, 2012; Munyanenza, 2012; Ciubotaru *et al.*, 2018). Adicionalmente, ciertas chicharritas de los géneros *Empoasca* y *Aceratagallia* participan en la diseminación de CaPhy, complicando aún más el control de la enfermedad (Almeyda-León *et al.*, 2008). Las pérdidas ocasionadas por PMP en México pueden variar entre el 30 % y el 95 % según la región, siendo Coahuila, Nuevo León y Guanajuato las entidades con mayor incidencia, alcanzando niveles de hasta 95 % en superficies afectadas (Flores Olivas, 2013; González *et al.*, 2014; Melgoza *et al.*, 2018; Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2023). La presencia de CaLso ha sido confirmada en Coahuila, Sinaloa y Guanajuato mediante técnicas moleculares, y el control de la enfermedad se centra en el manejo del vector a través de prácticas culturales y la aplicación de agentes químicos y biológicos (Delgado *et al.*, 2019).

La sintomatología de la PMP se caracteriza principalmente por las siguientes características: enanismo de la planta y enrollamiento de las hojas superiores. Las cuales adquieren tonalidades de color amarillas o violáceas, engrosamiento anormal de nudos y entrenudos del tallo; y la formación de tubérculos aéreos. En etapas avanzadas, las plantas presentan senescencia prematura, provocando una reducción significativa en el rendimiento. Los tubérculos procedentes de plantas infectadas desarrollan un color pardo interno y presentan dificultades en la germinación, produciendo brotes delgados o ahilados (Almeyda *et al.*, 1999; Cadena *et al.*, 2003).

La transmisión de *CaLso* se realiza principalmente a través del floema por psílicos que se alimentan de plantas de la familia Solanaceae, siendo *B. cockerelli* el vector más eficiente en *Solanum tuberosum* L.

El ciclo biológico de *B. cockerelli* comprende cinco instares ninfales antes de alcanzar la fase adulta, con desarrollo fuertemente influenciado por la temperatura ambiental. Según Rubio *et al.* (2013) y Munyaneza (2012), la temperatura óptima para el desarrollo del psílido es de aproximadamente 27 °C; a 32 °C, la tasa de reproducción disminuye, y por encima de 35 °C el insecto no sobrevive. El período de desarrollo desde huevo hasta adulto oscila entre 15 y 31 días, mientras que la longevidad de los adultos varía entre 20 y 62 días. Durante la oviposición, que puede prolongarse hasta 50 días, una hembra puede depositar entre 300 y 500 huevos, lo que refleja un elevado potencial reproductivo bajo condiciones favorables.

En México, para controlar *B. cockerelli* ha generado hasta 70 aplicaciones por ciclo en cultivos de solanáceas tales como: papa, tomate y chile. Lo cual incrementó el 50 % en el uso de insecticidas en estos cultivos. Donde la presencia de este insecto se ha reportado en Sinaloa, Estado de México, Coahuila, Baja California, Michoacán y Nuevo León. La aplicación intensiva de plaguicidas afecta las propiedades fisicoquímicas y bromatológicas del tubérculo, altera las características del suelo, genera resistencia en los insectos y reduce la población de enemigos naturales, incrementando los costos de producción (Hernández *et al.*, 2018).

El manejo de la enfermedad requiere estrategias integradas antes, durante y después de la siembra. El control cultural incluye el uso de semillas certificadas libres de patógenos, selección adecuada de fechas y sitios de siembra, eliminación de plantas hospederas y prácticas de rotación de cultivos, para prevenir la introducción de la bacteria y controlar la dispersión del vector (Rubio *et al.*, 2013). El control genético se centra en la selección de variedades resistentes, mientras que el control biológico emplea enemigos naturales y microorganismos patógenos que disminuyen la población de vectores y reducen la dependencia de plaguicidas. El control químico requiere un monitoreo constante de psílicos adultos, huevos y ninfas, utilizando trampas como método de detección temprana para optimizar las aplicaciones de insecticidas (Rubio *et al.*, 2013).

Además de PMP, la producción de papa en México se ve afectada por virus como PVY, PVA, PVX, PVS y PLRV, transmitidos principalmente por vectores, contacto mecánico o el uso de tubérculos infectados como semilla (Goyer y Lebas, 2006). También se presentan enfermedades bacterianas, tales como pudrición blanda, pudrición de raíz y pudrición vascular, así como enfermedades fúngicas como tizón tardío, tizón temprano y roya de la papa. La implementación de medidas preventivas resulta esencial no solo para mantener la productividad y calidad, sino también para garantizar la seguridad alimentaria, la sostenibilidad agrícola y el desarrollo económico del país.

#### **2.4 Métodos de propagación de *Solanum tuberosum* L.**

*Solanum tuberosum* L. puede propagarse mediante métodos sexuales y asexuales. A continuación, se describen los principales enfoques de propagación:

##### **1) Propagación sexual:**

La propagación sexual, a través de semillas, se utiliza principalmente en programas de mejoramiento genético, ya que permite la obtención de nuevas variedades con características superiores. No obstante, su uso en la producción comercial es limitado debido a la elevada variabilidad genética que presentan las plantas obtenidas por semilla. Esta variabilidad genera diferencias significativas en el desarrollo, rendimiento y calidad de los cultivos. Por esta razón, en sistemas de producción comercial se prefieren métodos de propagación vegetativa, los cuales garantizan uniformidad, estabilidad de las características deseadas y mayor predictibilidad en los resultados de producción (Cortez y Hurtado, 2002).

##### **2) Propagación asexual:**

La propagación asexual permite la multiplicación de plantas manteniendo la identidad genética y las características fenotípicas del genotipo parental. Entre los principales métodos se destacan:

- **Tubérculos enteros o seccionados:** Constituye la principal forma de propagación vegetativa a nivel mundial en cultivos de papa. La utilización de tubérculos completos o fragmentados como material de siembra asegura la estabilidad clonal y la expresión consistente de las características genotípicas a lo largo de múltiples ciclos de cultivo. Sin embargo, la reproducción asexual facilita la acumulación y transmisión de patógenos, especialmente virus, durante el desarrollo del cultivo y en el almacenamiento. La acumulación progresiva de agentes fitopatógenos puede provocar procesos de degeneración del cultivo, afectando su vigor, rendimiento y calidad (Scherwinski y Luces, 2004). Por ello, se subraya la importancia del uso de semilla certificada y material propagativo libre de virus como estrategia clave para garantizar la sanidad del cultivo y optimizar su desempeño agronómico.
- **Cultivo *in vitro*:** Esta técnica especializada emplea meristemas apicales u otros fragmentos de tejido vegetal como explantes, los cuales se establecen en medios nutritivos bajo condiciones estrictamente controladas de asepsia, temperatura, luz y humedad. El cultivo *in vitro* permite la obtención de plantas libres de patógenos, ya que los meristemas presentan baja presencia de virus, bacterias y hongos. Asimismo, posibilita la multiplicación rápida y eficiente, manteniendo la estabilidad genética y la uniformidad clonal, lo que resulta fundamental tanto para programas de mejoramiento como para la producción de tubérculo-semilla certificada (FONTAGRO, 2022).
- **Uso de estolones y esquejes:** La propagación mediante estolones y esquejes constituye una alternativa vegetativa relevante para el manejo y multiplicación de papa. Los estolones subterráneos pueden inducirse a tuberizar cuando la planta se expone a condiciones específicas de fotoperiodo y temperatura, particularmente días cortos y noches frías, lo que estimula la elongación de yemas laterales y la formación de nuevos tubérculos (Cuesta *et al.*, 2002; Rubio *et al.*, 2000). Este proceso, de naturaleza morfofisiológica, depende de la interacción de factores genéticos, fisiológicos y ambientales, y su alta plasticidad dificulta la determinación precisa de los mecanismos que regulan la tuberización (Villafranca *et al.*, 1998; Sarkar, 2008). Además, las yemas axilares presentes en tallos o esquejes pueden originar tubérculos, siempre que la planta haya sido previamente inducida a la tuberización.

## **2.5 Utilización de las técnicas biotecnológicas para la producción de plantas *in vitro* y microtubérculos de *Solanum tuberosum* L.**

Las técnicas biotecnológicas han permitido optimizar la eficiencia de la micropropagación de *Solanum tuberosum* L., particularmente a través de la tuberización *in vitro*, posibilitando la obtención de material vegetal libre de patógenos y con características agronómicas superiores. En este contexto, Salazar Laureles y Soto Hernández (2019) evaluaron el efecto del peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) como agente inductor de microtuberización (MT) a lo largo de tres subcultivos sucesivos. La hipótesis del estudio planteaba que la aplicación de  $H_2O_2$  podría estimular la formación de MT más allá de un único ciclo de cultivo.

El diseño experimental fue factorial ( $2 \times 6 \times 3$ ), considerando como factores principales la aplicación de  $H_2O_2$  (5 mM por 1 hora), los días de evaluación y el número de subcultivos. Cada subcultivo incluyó 12 unidades experimentales con tres repeticiones por tratamiento. Los explantes nodales se cultivaron inicialmente en medio MS durante 30 días; posteriormente, algunas plantas se trasladaron a medio de tuberización y otras continuaron en subcultivos adicionales.

Los resultados mostraron que la aplicación de  $H_2O_2$  ejerció un efecto positivo en la inducción de microtuberización a lo largo de los tres subcultivos, observándose el mayor número de MT en el segundo ciclo. Además, se evidenció una correlación positiva entre el tamaño y el peso de los MT ( $r^2 = 0.63$ ), y el 64 % de ellos presentó capacidad de brotación antes de la cosecha. Este estudio respalda el uso del  $H_2O_2$  como regulador eficaz en sistemas de propagación *in vitro*, actuando como señal química que puede activar respuestas fisiológicas relacionadas con estrés oxidativo, promoviendo la diferenciación de estructuras tuberosas. Su aplicación constituye una estrategia prometedora para incrementar la eficiencia en la producción de semilla pre-básica, especialmente en programas de mejoramiento genético y sanidad vegetal.

A diferencia de los métodos convencionales de siembra, la micropropagación permite una producción rápida y controlada de plantas. En un estudio realizado en el Instituto de Biotecnología de la Universidad Central de Venezuela (2017), se evaluó la microtuberización *in vitro* utilizando dos variedades de papa: 'Arbolona Negra' (AN) y 'Granola' (G). Los microesquejes de ambas variedades se cultivaron inicialmente en

medio líquido MS, con o sin adición de giberelinas (GA), suplementado con 25 g L<sup>-1</sup> de sacarosa y bajo luz blanca continua. Posteriormente, para inducir la formación de MT, las vitroplantas se subcultivaron en medio MS enriquecido con 50 g L<sup>-1</sup> de sacarosa y tres concentraciones de benciladenina (BA: 0, 1 y 5 mg L<sup>-1</sup>), incubadas bajo diferentes regímenes lumínicos.

Los resultados indicaron que el pretratamiento con GA promovió el alargamiento del tallo en la variedad AN, mientras que no presentó efecto en la variedad G. En cuanto a la producción de MT, ambas variedades respondieron de manera óptima cuando fueron cultivadas en medio MS con 5 mg L<sup>-1</sup> de BA, sin pretratamiento con giberelinas y bajo condiciones de fotoperiodo controlado. Este enfoque biotecnológico demuestra que el cultivo *in vitro* de microesquejes, utilizando reguladores de crecimiento como BA y una fuente elevada de carbono como la sacarosa, permite acelerar la microtuberización. Además, la exposición a días cortos favorece la formación de estructuras tuberosas, reduciendo significativamente el tiempo requerido en comparación con los métodos convencionales. Los microtubérculos obtenidos mediante esta técnica pueden emplearse como semilla pre-básica para su posterior establecimiento en campo, contribuyendo a la producción de material vegetal sano y de alta calidad, lo que representa un avance significativo en los programas de mejoramiento genético y sanidad de *S. tuberosum* L.

### **3.0 MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.0.1 Generalidades de los experimentos**

El estudio fue realizado en el Laboratorio de Micropropagación de Plantas del Instituto Mexicano del Maíz "Dr. Mario E. Castro Gil", que es parte de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Saltillo, Coahuila, México.

Se emplearon tubérculos-semilla de la variedad Fianna (*Solanum tuberosum* L.) como material vegetal. El Centro de Investigación Región Noreste del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) realizó la donación.

Se utilizó un diseño experimental monofactorial completamente aleatorizado, con cinco frascos por tratamientos y tres explantes por frasco de cultivo, sumando 15 repeticiones por tratamiento. Para el procesamiento estadístico de los datos se utilizó el utilitario *Statistical Package for Social Sciences* (SPSS para Windows, versión 20.0 para Windows; SPSS Inc., New York, NY). De acuerdo con Kolmogorov-Smirnov, se comprobó que los datos se distribuyen de manera normal; y conforme a Levene, que las varianzas son homogéneas. Luego se llevaron a cabo las pruebas Tukey ( $p \leq 0.05$ ) y ANOVA de un factor.

#### **3.1 Desinfección y establecimiento *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna**

La concentración ideal de 6-bencilaminopurina (BAP) para establecer la variedad Fianna *in vitro* fue determinada en este experimento. En donde se emplearon segmentos nodales como material inicial. Con este propósito, los tubérculos-semilla se plantaron en la tierra con el objetivo de conseguir plantas donadoras que luego fueran destinadas a ser establecidas *in vitro*. Antes de entrar al proceso de cultivo *in vitro*, estas plantas fueron manejadas previamente, lo que incluyó la aplicación de fungicidas y fertilización. Los explantes (segmentos nodales) fueron cosechados después de 25 días de sembrar los tubérculos-semilla para establecer el cultivo *in vitro*.

El material vegetal consistió en secciones nodales de plantas elegidas del *Solanum tuberosum* L., de la fase 0 de la micropropagación, con una longitud cercana a los 5.0 a 7.0 cm; y que tenían entre dos y tres yemas axilares. Primero, los segmentos fueron lavados con detergente comercial y, después, enjuagados con agua abundante. Después, fueron llevados a la campana de flujo laminar, donde se llevó a cabo la desinfección en superficie. Para ello, se sumergieron durante dos minutos en una solución de etanol al 70 % (v/v) y luego fueron tratados con hipoclorito de sodio (NaClO) al 1 %, el cual fue mezclado con una gota de Tween 20, por un tiempo de diez minutos. Después de este procedimiento, se llevaron a cabo tres enjuagues seguidos con agua destilada estéril para quitar los restos del desinfectante. Los explantes, tras ser desinfectados, se cortaron hasta conseguir partes de entre 1.0 y 1.5 cm; un tamaño perfecto para ser implantados en el medio de cultivo. Se sembró cada segmento en tubos de ensayo de 100 × 125 mm que tenían un medio de 10 mL. Las sales minerales de Murashige y Skoog (1962) se utilizaron para preparar el medio basal, añadiendo tiamina ( $1.0 \text{ mg L}^{-1}$ ), myo-Inositol ( $100 \text{ mg L}^{-1}$ ) y sacarosa ( $20 \text{ g L}^{-1}$ ).

Para valorar su impacto en la inducción y producción de nuevos brotes, se añadieron diferentes concentraciones de BAP a esta formulación. Las concentraciones analizadas fueron  $0 \text{ mg L}^{-1}$  (tratamiento control),  $0.3 \text{ mg L}^{-1}$  y  $0.5 \text{ mg L}^{-1}$ . Los cultivos fueron incubados con una temperatura de  $25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ , bajo iluminación artificial de lámparas fluorescentes, con un fotoperiodo de 16 horas luminosas y 8 horas oscuras y una DFFF de  $80 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .

El medio se solidificó con Agar PhytageITM (Sigma-Aldrich) a una concentración de  $4.0 \text{ g L}^{-1}$  y el pH del medio se modificó a  $5.7 \pm 1$  antes de ser esterilizado. Tras 35 días de incubación, se contó el número de brotes producidos por explante y se comprobó si existía contaminación microbiana en el medio de cultivo.

### **3.2 Multiplicación *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna**

#### *3.2.1 Efecto de las regulaciones hormonales en la etapa de multiplicación in vitro de Solanum tuberosum L. variedad Fianna*

La influencia de 6-bencilaminopurina (BAP) y del ácido indolacético (AIA) en la etapa de multiplicación *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna fue determinada en esta sección del experimento. Con este propósito, se tomaron porciones nodales de entre 10 y 15 mm de longitud que contenían una yema axilar a partir del cuarto subcultivo de los brotes individuales obtenidos en el establecimiento *in vitro*. Estos fueron introducidos en el medio de cultivo de sales MS mencionado en la sección previa, pero con concentraciones variadas de AIA, BAP y ANA (ácido naftalenacético) añadidas; además, se incorporaron 30 g de sacarosa al medio. El cuadro 3 presenta las concentraciones que han sido probadas.

Luego, los cultivos se incubaron bajo las condiciones de temperatura e iluminación artificial que se detallan en el apartado 3.1. Por otro lado, para gelificar el medio de cultivo se empleó Agar Phytigel™ (Sigma-Aldrich) en una proporción de 4.0 g L<sup>-1</sup>. Se corrigió el pH del medio de cultivo a 5.7 ±1. Se realizaron cinco repeticiones para cada tratamiento. Cada frasco de cultivo tuvo cinco repeticiones.

**Cuadro 3.** Tratamientos evaluados en la fase de multiplicación *in vitro* de explantes de la variedad Fianna.

N° de tratamientos	Concentraciones (mg L <sup>-1</sup> )
1	0 BAP
2	0.3 BAP
3	0.5 BAP
4	0.3 BAP + 0.2 ANA
5	0.3 BAP + 0.2 AIA
6	0.5 BAP + 0.2 ANA
7	0.5 BAP + 0.2 AIA

Se examinaron los parámetros siguientes en cada uno de los tratamientos a 40 días del cultivo *in vitro*:

1. Número de nudos en tallo principal
2. Número de nudos en tallo secundario

3. Altura de la plántula
4. Número de hojas

En la figura 2 se muestra la medición de la altura del brote *in vitro* desde la parte basal hasta el meristemo apical del brote.



**Figura 2.** Medición de la altura de la plántula desde la base del tallo hasta el meristemo apical

### **3.3 Efecto de diferentes concentraciones de sacarosa en la etapa de crecimiento *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna**

Después de obtener brotes *in vitro* en la fase de multiplicación, se llevó a cabo el trasplante de brotes de 6 a 8 cm de altura y con 8 a 10 hojas por cada uno, así como cuatro entrenudos. Estos se colocaron en frascos de cultivo que tenían las sales MS como medio, tal como se mencionó anteriormente, pero esta vez sin agregar hormonas reguladoras del crecimiento. Con el propósito de comprobar cómo distintas concentraciones de sacarosa afectan la expansión de brotes *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna. Para esto, se ensayaron las concentraciones de sacarosa que siguen: 0, 20 y 30 g L<sup>-1</sup>. Los brotes *in vitro* fueron incubados en frascos con medio de cultivo después de ser implantados, siguiendo las condiciones de

incubación que se detallan en el apartado 3.1. Se llevó a cabo la evaluación de los siguientes parámetros en cada tratamiento al día 40 de cultivo: longitud de la raíz principal, número de hojas por brote, cantidad de brotes con raíces y altura del brote.

### **3.4 Enraizamiento *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna**

#### *3.4.1 Influencia de la concentración y el tipo de reguladores del crecimiento en la fase de enraizamiento de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna*

Las plántulas del presente experimento, que se obtuvieron en la fase de multiplicación, fueron sometidas a subcultivos con tratamientos que variaban en la concentración de AIB (ácido indolbutírico), que era 0, 0.1, 0.2 y 0.3 mg L<sup>-1</sup>. En donde cada tratamiento tuvo cinco repeticiones, con cinco explantes en cada frasco de cultivo. Después de 40 días de incubación, se midieron los siguientes parámetros: la altura, la cantidad de raíces, la longitud de las raíces y el número de nudos.

### **3.5 Aclimatación de plantas *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna**

La aclimatación de las plántulas que proceden de la fase de enraizamiento *in vitro* del cultivo de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna fue el propósito de esta etapa del estudio. Para eso, se utilizaron plántulas de 9 a 10 cm de altura, las cuales tenían tres raíces como promedio. Las cuales fueron extraídas con gran cautela del frasco de cultivo y se lavaron con agua corriente en abundancia para quitar los residuos de agar que quedaban pegados a las raíces y tejidos de la plántula. Las plántulas fueron trasladadas a recipientes que contienen 32 cavidades, cada uno de los cuales tiene un sustrato compuesto de musgo de turba y termolita (en una proporción igual). La etapa de desarrollo *ex vitro* tuvo lugar en un invernadero con regulación de sombra. Las unidades experimentales fueron sometidas a una disminución del 70 % de la intensidad lumínica utilizando mallas de sombreo en los primeros veinte días después del trasplante, con el objetivo de reducir el estrés por fotoinhibición. La reducción de la luz se modificó al 35 % en los siguientes quince días, que corresponden a la etapa de

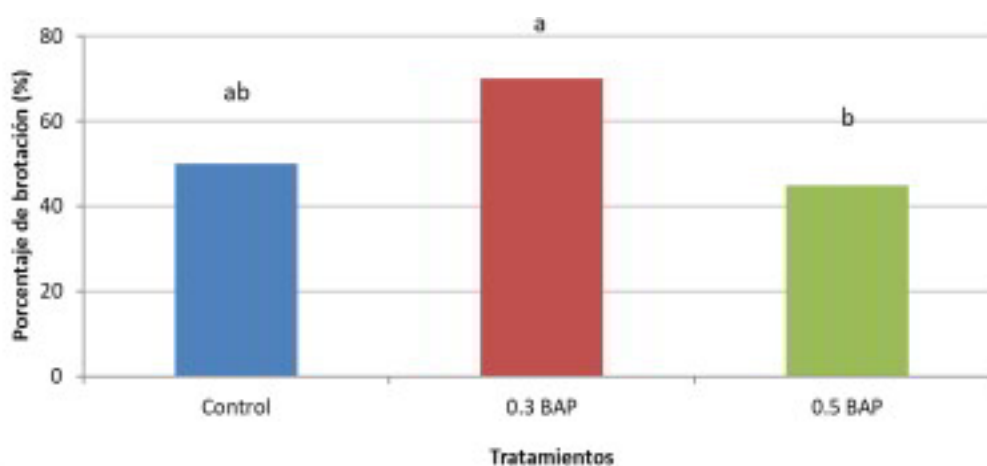
aclimatación, para hacer más sencilla la adaptación progresiva de las plántulas a condiciones con una irradiancia más alta.

La provisión de agua se realizó a través de un sistema de microaspersión y la humedad relativa en el invernadero estuvo por encima del 85%. Durante las primeras semanas después del trasplante, el riego se programó en intervalos de 30 segundos cada media hora. Con el propósito de adaptar la disponibilidad de agua a las nuevas demandas fisiológicas, se aumentó el tiempo de riego a 1 minuto cada hora en las semanas siguientes. Desde la tercera semana, las plántulas recibieron un tratamiento con una solución líquida nutritiva que incluía micronutrientes y macronutrientes esenciales dos veces a la semana. Se establecieron los siguientes parámetros al comienzo y después de transcurridos 35 días: la altura de la plántula (cm), la longitud de la raíz principal por plántula (cm) y el porcentaje de supervivencia (%).

## 4.0 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Desinfección y establecimiento *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna

Para el establecimiento de una metodología de micropropagación es necesario contar con un método eficiente de desinfección de los explantes, así como un medio de establecimiento *in vitro* adecuado. El método de desinfección mostró una eficiencia del 100 % de explantes libres de agentes contaminantes *in vitro*. Es decir, estuvieron superficialmente asépticos, contrario a lo obtenido por Pérez–Guzmán (2024), donde obtuvo más del 50 % de contaminación en la variedad de papa “Holandesa”. Mientras que, en la figura 3 se muestran los porcentajes de respuesta en cada tratamiento, basado en la brotación de los explantes (yemas), donde el tratamiento de 0.3 mg L<sup>-1</sup> con un 70 % de respuesta, superando significativamente al resto de los tratamientos evaluados (Figura 3). Cabe señalar que la fenolización de los explantes fue nula en esta fase de la experimentación.

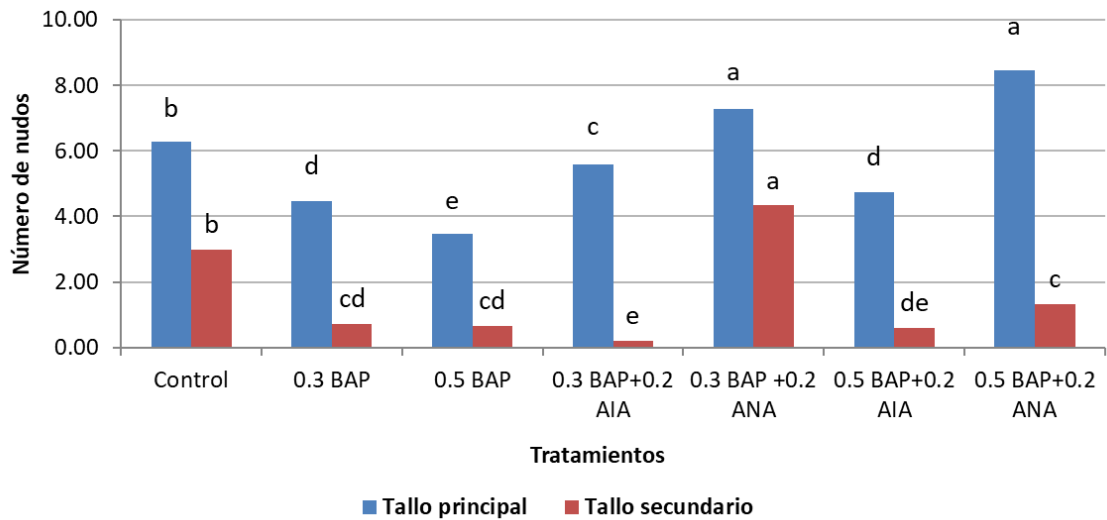


**Figura 3.** Efecto de la concentración de 6- bencilaminopurina (6-BAP) en la brotación de yemas, en el establecimiento *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna, a partir de segmentos nodales. Letras distintas encima de las columnas muestran diferencias significativas entre tratamiento a la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

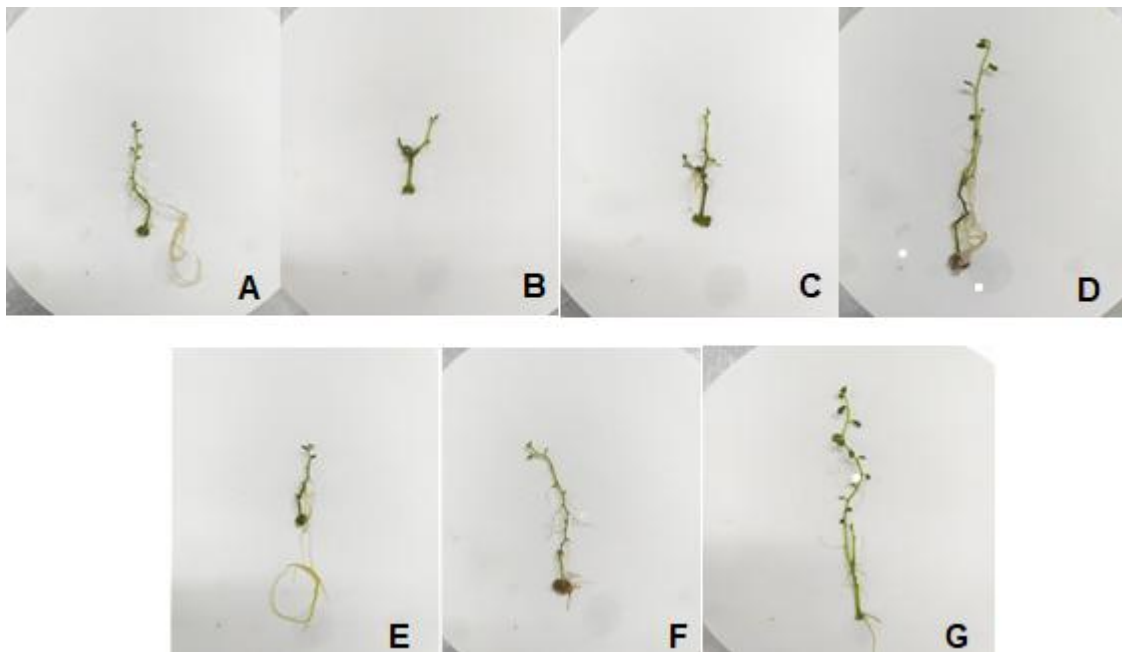
## 4.2 Multiplicación *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna

### 4.2.1 Efecto de las regulaciones hormonales en la etapa de multiplicación *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna

Luego del establecimiento *in vitro* de los explantes de papa variedad Fianna, y transcurrido su periodo inicial de incubación, se obtienen brotes los cuales se utilizaron para la etapa de multiplicación *in vitro*. La cual permite la multiplicación exponencial de las plántulas *in vitro* obtenidas en la etapa de establecimiento *in vitro*. En la figura 4 observamos una muestra representativa de las plántulas de papa *in vitro* obtenidas en los diferentes tratamientos evaluados. Uno de los principales parámetros a tomar en cuenta para evaluar la eficiencia de los tratamientos es el número de nudos, tanto en el tallo principal como en los tallos secundarios (Figura 4). En la figura 4, podemos observar que cada tratamiento tuvo un comportamiento diferencial influenciado por las concentraciones de los reguladores del crecimiento *in vitro* evaluadas en el experimento. Donde los tratamientos con  $0.3 \text{ mg L}^{-1}$  y  $0.5 \text{ mg L}^{-1}$  de BAP combinado ambos con  $0.2 \text{ mg L}^{-1}$  de ANA tuvieron el mayor número de nudos en el tallo principal. Mientras que para el tallo secundario fue el tratamiento de  $0.3 \text{ mg L}^{-1}$  de BAP combinado con  $0.2 \text{ mg L}^{-1}$  de ANA. Siendo este tratamiento el de mejor comportamiento de forma integral si combinamos los resultados obtenidos para ambos tallos principal y secundario. De forma cualitativa visual se puede ver la calidad de las plántulas obtenidas y se muestran en la figura 5D.



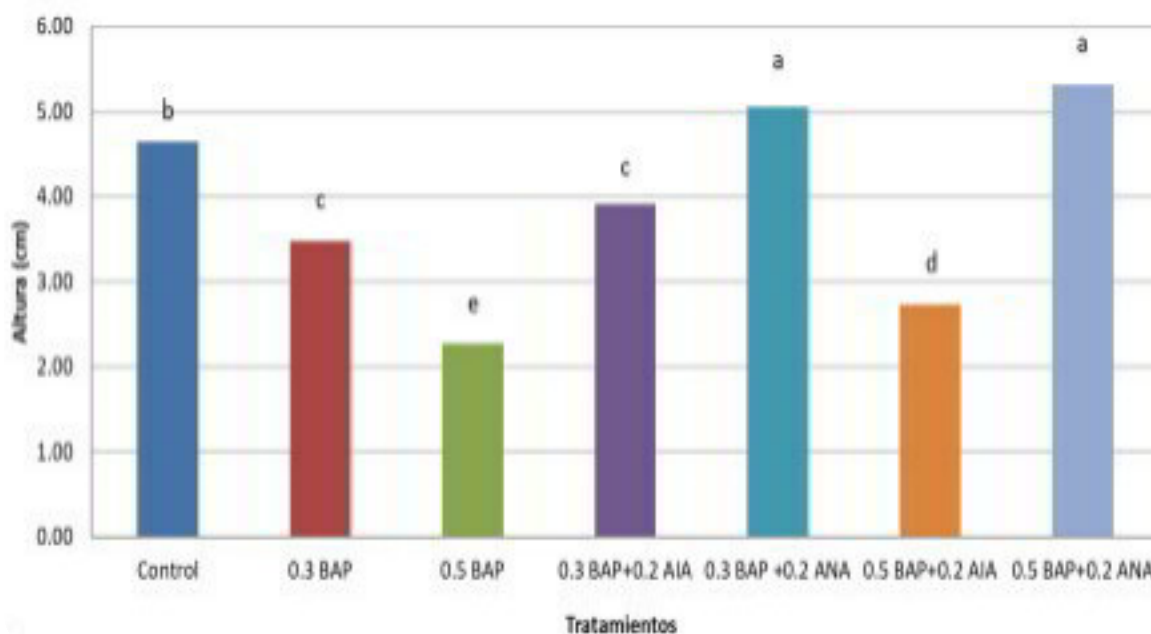
**Figura 4.** Efecto de las regulaciones hormonales en la producción de nudos en el tallo principal y los tallos secundarios, en la etapa de multiplicación *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna. Letras distintas encima de las columnas de igual color muestran diferencias significativas entre tratamiento a la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).



**Figura 5.** Características de los brotes *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna en las diferentes concentraciones de regulaciones hormonales en la etapa de multiplicación *in vitro*: Control sin reguladores del crecimiento vegetal (A), y tratamientos (B–G) con varias combinaciones de los reguladores del crecimiento vegetal (BAP, ANA y AIA) a diferentes concentraciones (B= 0.3 mg L<sup>-1</sup> BAP; C= 0.5 mg L<sup>-1</sup> BAP; D= 0.3 mg L<sup>-1</sup> BAP + 0.2 mg L<sup>-1</sup> ANA; E=, 0.3 mg L<sup>-1</sup> BAP + 0.2 mg L<sup>-1</sup> AIA; F= 0.5 mg L<sup>-1</sup> BAP + 0.2 mg L<sup>-1</sup> ANA y G= 0.5 mg L<sup>-1</sup> BAP + 0.2 mg L<sup>-1</sup> AIA.

Otro de los parámetros evaluados fue la altura de las plántulas *in vitro* (Figura 6). En la figura 6 se muestran los resultados obtenidos para cada tratamiento evaluado en cuanto a la altura de las plántulas, siendo las concentraciones de 0.3 mg L<sup>-1</sup> y 0.5 mg L<sup>-1</sup> de BAP combinadas ambas con 0.2 mg L<sup>-1</sup> de ANA los tratamientos que mostraron las mayores alturas en las plántulas *in vitro*. Siendo estos resultados altamente influenciados por los reguladores del crecimiento vegetal evaluados. Dicho efecto positivo del BAP y ANA en plántulas ha sido comprobado en diferentes variedades de papa (Mejía-Muñoz *et al.*, 2006; Araque-Barrera *et al.*, 2018); así como, en la micropropagación de múltiples especies de plantas como *Cucumis sativus* (Bin-Azizan, 2017), *Olea euorpea* (Khatoon *et al.*, 2022), *Adansonia digitata* (Rehman *et al.*,

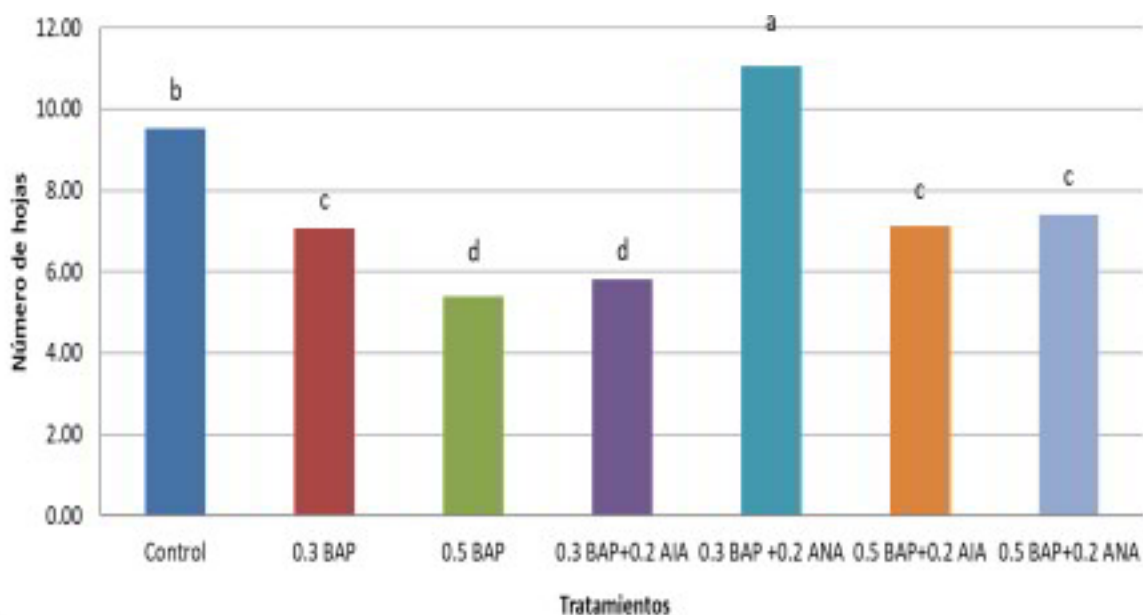
2023), entre otras. Mientras que, González–Castillo y Chavarría–Reyes (2016), también alcanzaron los mejores resultados de altura y número de nudos en la variedad “Banba” con el empleo de un medio de cultivo suplementado con 0.5 mg L<sup>-1</sup> de BAP y 0.1 mg L<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub>.



**Figura 6.** Efecto de las regulaciones hormonales en la altura de las plántulas en la etapa de multiplicación *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna. Letras distintas encima de las columnas de igual color muestran diferencias significativas entre tratamiento a la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

En la figura 7, se observan los resultados obtenidos en cuanto al número de hojas emitidas por las plántulas *in vitro* para cada uno de los tratamientos evaluados. Siendo el tratamiento de 0.3 mg L<sup>-1</sup> de BAP combinado con 0.2 mg L<sup>-1</sup> de ANA dónde se observan los mejores resultados en base al número de hojas con un promedio de 11 hojas emitidas por plántula. Mediante los resultados obtenidos en este trabajo, podemos demostrar de manera clara que existe una clara influencia de los reguladores del crecimiento vegetal, específicamente del BAP y el ANA sobre los parámetros

evaluados. Por otra parte, se evidencia que las combinaciones de estos dos reguladores del crecimiento vegetal propician la inducción de diferentes órganos vegetales en el cultivo *in vitro* de la papa, tales como: las yemas nodales, brotes, hojas y la microtuberización. Resultados similares han sido dados a conocer en otras investigaciones de cultivo *in vitro* con diferentes variedades de papas (Moreno y Oropeza, 2017; López–Gómez, 2019; Ariste *et al.*, 2025).

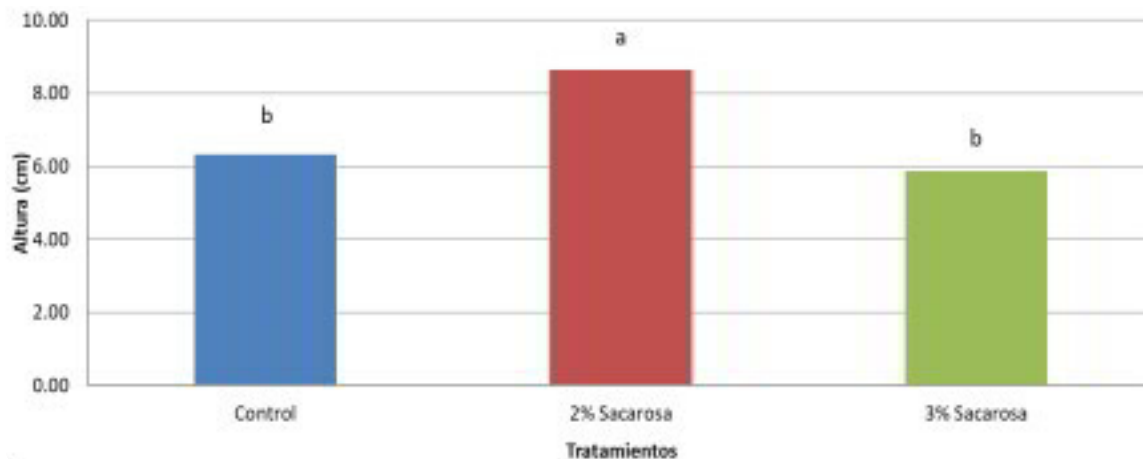


**Figura 7.** Efecto de las regulaciones hormonales en el número de hojas emitidas por las plántulas en la etapa de multiplicación *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna. Letras distintas encima de las columnas de igual color muestran diferencias significativas entre tratamiento a la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

#### 4.3 Efecto de diferentes concentraciones de sacarosa en la etapa de crecimiento *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna

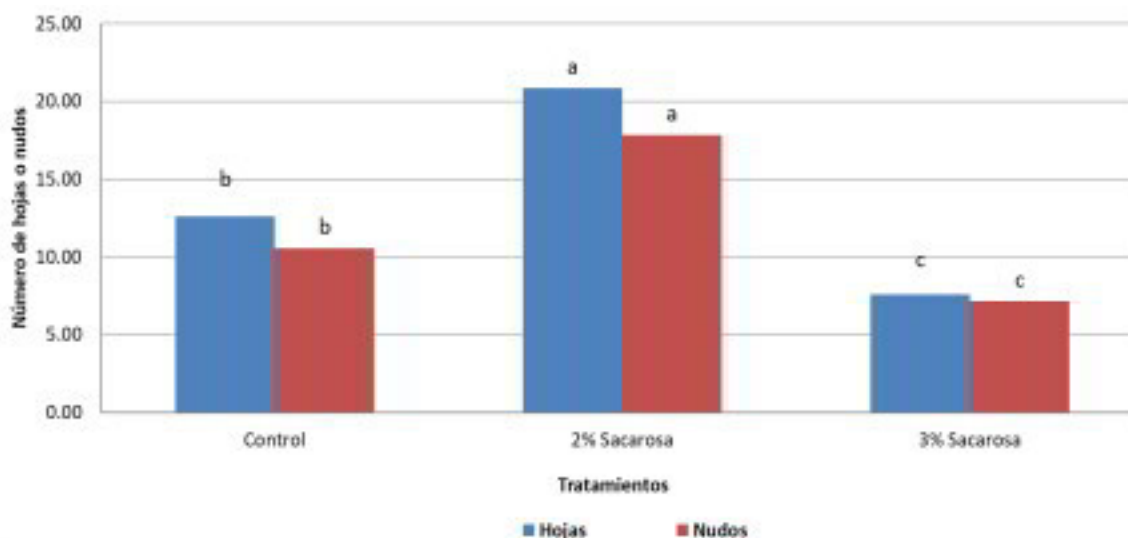
Luego de generar la multiplicación *in vitro* de los brotes de papa en la variedad Fianna, se hace necesario una fase de crecimiento *in vitro* para propiciar un mayor crecimiento y desarrollo de las plántulas y de esa forma estar mejor preparadas para las siguientes etapas de la micropropagación en el cultivo. Cabe señalar que en la fase de crecimiento *in vitro* por lo general se retiran del medio de cultivo los reguladores del

crecimiento vegetal, como fue el caso para este experimento. En la figura 8, se muestra el comportamiento de los diferentes tratamientos evaluados sobre la altura de las plántulas *in vitro*.



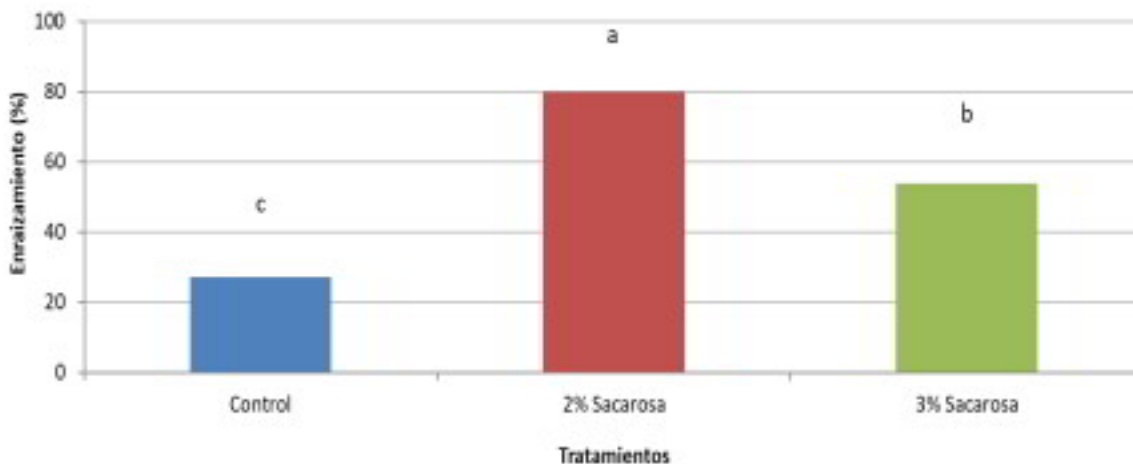
**Figura 8.** Efecto de diferentes concentraciones de sacarosa sobre la altura de las plántulas en la etapa de crecimiento *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna. Letras distintas encima de las columnas de igual color muestran diferencias significativas entre tratamiento a la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

Donde el tratamiento compuesto por la combinación de las sales MS y suplementado con 2 % ( $20 \text{ g L}^{-1}$ ) de sacarosa brindo los mejores resultados en altura promedio (8.64 cm), alcanzando aproximadamente los nueve centímetros de altura, y siendo la diferencia altamente significativa con el resto de los tratamientos y el control. Comportamiento similar al parámetro de la altura de las plántulas, lo podemos observar para el número de hojas, que se muestran en la figura 9.

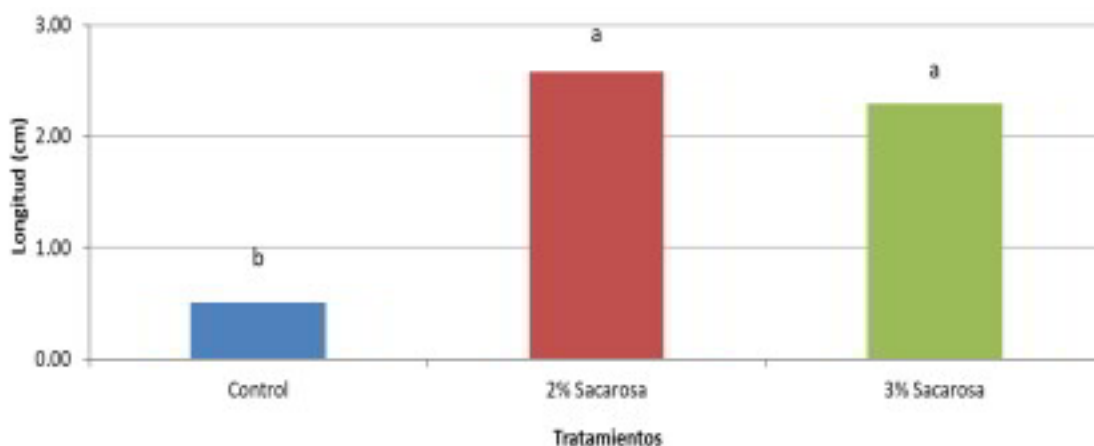


**Figura 9.** Efecto de diferentes concentraciones de sacarosa sobre el número de hojas emitidas y los nudos en las plántulas en la etapa de crecimiento *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna. Letras distintas encima de las columnas de igual color muestran diferencias significativas entre tratamiento a la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

Siendo el mismo tratamiento (2 % sacarosa) referido anteriormente el que mostro los mayores resultados (número de hojas promedio = 20.0, y número de nudos promedio = 17.9). Otro parámetro importante evaluado, fue el porcentaje de enraizamiento de las plántulas *in vitro* (Figura 10), dado que es un órgano muy importante para la supervivencia de las vitroplantas y posteriormente para garantizar la producción de la papa. El tratamiento con 2 % de sacarosa se mantuvo a la vanguardia con un 80 % de plántulas *in vitro* enraizadas, mostrando diferencias estadísticas significativas con los otros tratamientos y el control, como se muestra en la figura 10. En la figura 11, se ilustran los resultados del comportamiento de los diferentes tratamientos evaluados en el crecimiento vegetal *in vitro* sobre la longitud de la raíz principal de las plántulas obtenidas *in vitro*. A pesar de mantener la mayor longitud (2.58 cm) el tratamiento con 2 % de sacarosa, no tuvo diferencias estadísticas significativas con el tratamiento compuesto por el 3 % de sacarosa, pero si ambos tratamientos de sacarosa difieren significativamente del tratamiento control (Figura 11).



**Figura 10.** Efecto de diferentes concentraciones de sacarosa sobre el enraizamiento de las plántulas en la etapa de crecimiento *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna. Letras distintas encima de las columnas de igual color muestran diferencias significativas entre tratamiento a la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).



**Figura 11.** Efecto de diferentes concentraciones de sacarosa sobre la longitud de la raíz principal de las plántulas en la etapa de crecimiento *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna. Letras distintas encima de las columnas de igual color muestran diferencias significativas entre tratamiento a la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

En este trabajo logramos incrementar el crecimiento vegetal *in vitro*, el cual es un factor importante a considerar en el cultivo de la papa, dado que, con él se propicia un mayor desarrollo y producción de material de plantación o semilla prebásica (Pérez–

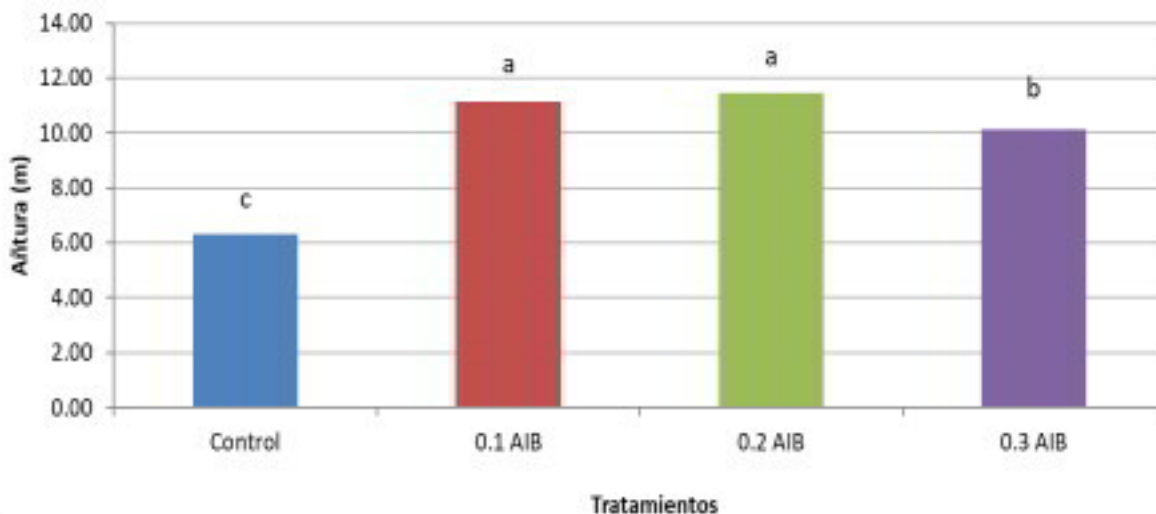
Guzmán, 2024). Además, se comprobó que el crecimiento *in vitro* está muy influenciado por los componentes del medio de cultivo y en especial la sacarosa como principal fuente de carbono o energía; lo cual ha sido comprobado en otros estudios de micropropagación (Pasternak y Steinmacher, 2025). Por su parte López–Gómez (2019), alcanza en la variedad de papa “Purén” en Honduras la mayor producción del número de nudos (8.17) y altura de las plántulas (8 cm) en el tratamiento compuesto por las sales MS suplementado con 2 % de sacarosa y sin reguladores del crecimiento vegetal, siendo la altura de las plántulas muy similar a la nuestra (8.64 cm), pero con más del doble para los nudos (17.9), usando el mismo tratamiento (Figuras 10 y 11).

El número de hojas también representa un factor importante de crecimiento y en la presente experimentación se obtuvo desarrollo completo de los folíolos a hojas en el tratamiento con 2 % de sacarosa; y sin reguladores del crecimiento se mostraron los mejores resultados (Figura 9), contrario a los resultados publicados por Pérez–Guzmán (2024), donde la adición de auxina al medio de cultivo inhibió el desarrollo de los folíolos a hojas verdaderas. Además, Rigato *et al.* (2001), describió la formación de plántulas de papa bien diferenciadas y con hojas verdaderas mediante la combinación de la micropropagación con crecimiento autotrófico. Otros de los aspectos a tener en cuenta en esta fase, son la producción de raíces y su longitud, dado que ayudan a la supervivencia de las plantas en fases subsecuentes, aunque posterior a esta fase, continua la fase de enraizamiento. En nuestra experimentación se observó la inducción de raíces en todos los tratamientos probados con un máximo del 80 % para el tratamiento con 2 % de sacarosa, González–Castillo y Chavarría–Reyes (2016). Por otro lado, obtuvieron enraizamiento *in vitro* en la etapa de microtuberización de la variedad “Banba” pero en el medio de cultivo suplementado con 8 % de sacarosa sin reguladores del crecimiento vegetal. Por su parte, Moreno y Oropeza (2017) trabajando con las variedades de papa “Arbolona negra” y “Granola” observaron la producción de raíces en medio de cultivo *in vitro* sin reguladores del crecimiento y fotoperiodo corto de ocho horas luz.

#### 4.4 Enraizamiento *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna

##### 4.4.1 Influencia de la concentración y el tipo de reguladores del crecimiento en la fase de enraizamiento de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna

La etapa de enraizamiento de las plántulas es de suma importancia, dado que es donde se termina el desarrollo y se establecen las conexiones vasculares completas. En la figura 12, se observa el comportamiento de los diferentes tratamientos con AIB y el control. Cabe señalar que en los tres tratamientos con AIB se obtuvo un 100 % de plántulas enraizadas, mientras que, el tratamiento control solo alcanzó un 27.3 %. La mayor altura de las plántulas enraizadas fue 11.14 y 11.47 cm, respectivamente. Los cuales se obtuvieron en los tratamientos con adición de 0.1 y 0.2 mg L<sup>-1</sup> de AIB, sin que exista diferencia estadísticamente significativa entre ellos, pero sí con el resto de los tratamientos. Una representación esquemática de las plántulas obtenidas en los diferentes tratamientos del enraizamiento se puede observar en la figura 13, donde se tienen plantas completas con folíolos bien desarrollados hasta hojas completas, con varios nudos, brotes y raíces.

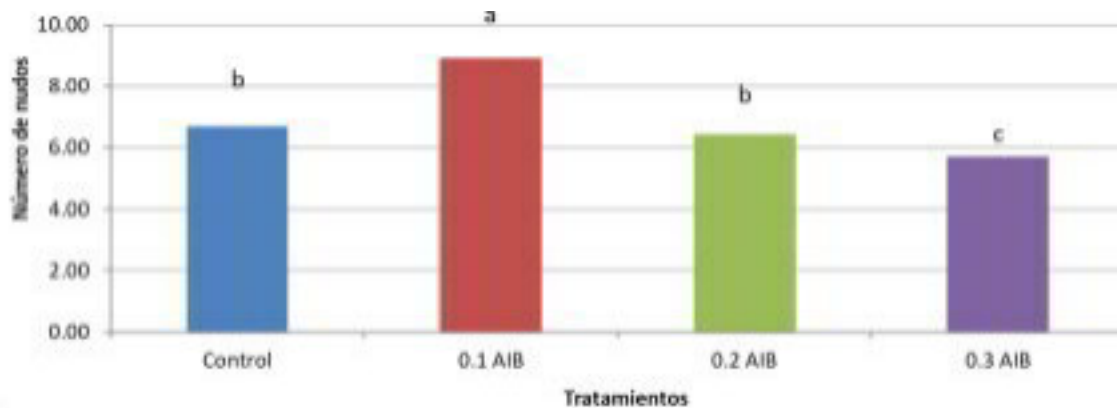


**Figura 12.** Influencia de la concentración y el tipo de reguladores del crecimiento sobre la altura de las plántulas en la etapa de enraizamiento de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna. Letras distintas encima de las columnas de igual color muestran diferencias significativas entre tratamiento a la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).



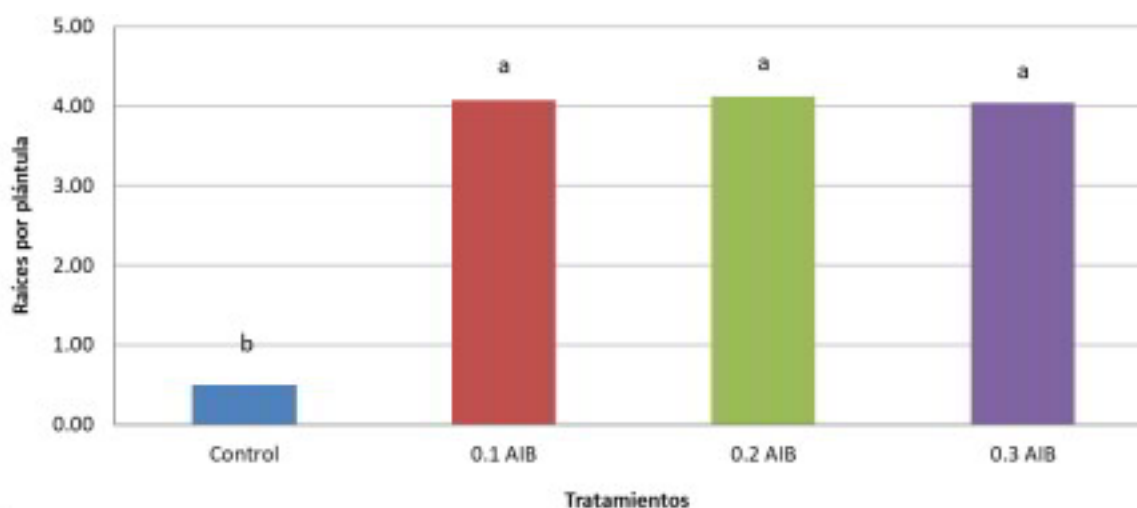
**Figura 13.** Características de las plántulas en las diferentes concentraciones y tipo de reguladores del crecimiento en la etapa de enraizamiento *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna. Control sin reguladores del crecimiento vegetal (A); 0.1 mg L<sup>-1</sup> de AIB (B); 0.2 mg L<sup>-1</sup> de AIB (C) y 0.3 mg L<sup>-1</sup> de AIB (D).

En la figura 14, se observa un comportamiento diferencial y con diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados, siendo el tratamiento con 0.1 mg L<sup>-1</sup> de AIB el que obtuvo su mejor producción con promedio de 8.92 nudos por plántula (Figura 14).

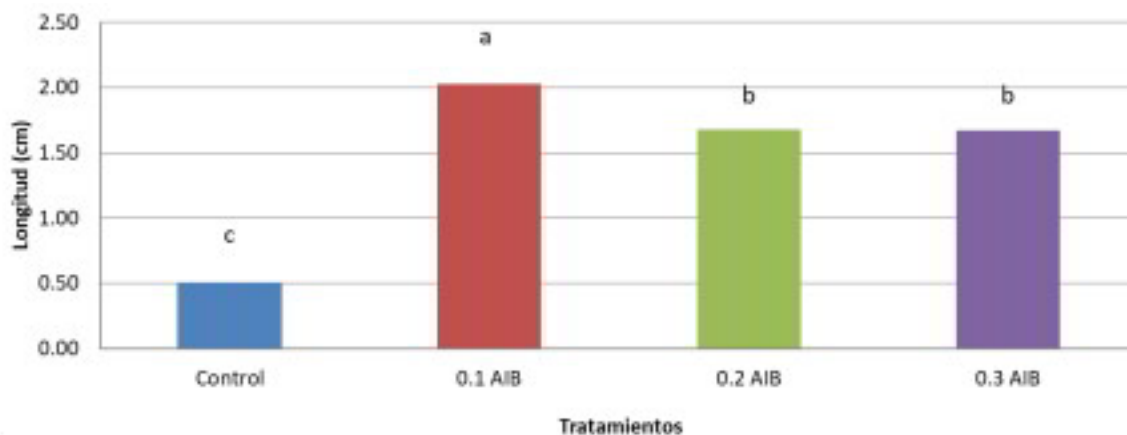


**Figura 14.** Influencia de la concentración y el tipo de reguladores del crecimiento sobre el número de nudos en las plántulas en la etapa de enraizamiento *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna. Letras distintas encima de las columnas muestran diferencias significativas entre tratamiento a la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

Manteniendo un comportamiento muy similar al observado en otras fases del cultivo *in vitro*. Es de señalar, que este tratamiento (0.1 mg L<sup>-1</sup> de AIB) mostró diferencias estadísticas significativas con el resto de los tratamientos evaluados y el control (Figura 14), demostrando la influencia que tiene el AIB en el desarrollo de las plántulas. A su vez, el número de raíces por plántula (Figura 15), fue más homogéneo su comportamiento (promedio de 4.08, 4.12 y 4.04 raíces por plántula, respectivamente) entre los tres tratamientos de AIB evaluados (0.1, 0.2 y 0.3 mg L<sup>-1</sup> de AIB), sin diferencias estadísticas significativas entre ellos, pero sí contra el control, que solo alcanzó en promedio 0.50 raíces por plántula, debido también a su bajo porcentaje de enraizamiento registrado (27.3 %). Mientras que el comportamiento de los diferentes tratamientos de enraizamiento a la longitud promedio de las raíces emitidas por las plántulas (Figura 16), si fue diferencial; siendo el tratamiento con 0.1 mg L<sup>-1</sup> de AIB el que alcanzó la media mayor de la longitud con un promedio de 2.03 cm de longitud, y con diferencia estadística significativa con el resto de los tratamientos y el control.



**Figura 15.** Influencia de la concentración y el tipo de reguladores del crecimiento sobre el número de raíces por plántula en la etapa de enraizamiento *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna. Letras distintas encima de las columnas muestran diferencias significativas entre tratamiento a la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).



**Figura 16.** Influencia de la concentración y el tipo de reguladores del crecimiento sobre la longitud promedio de las raíces en las plántulas en la etapa de enraizamiento *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna. Letras distintas encima de las columnas muestran diferencias significativas entre tratamiento a la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

En la etapa de enraizamiento *in vitro* de las plántulas se evidenció claramente la influencia de la auxina AIB, la cual es catalogada como la auxina del enraizamiento por excelencia, y así está demostrando una ruta biosintética específica de las auxinas vinculadas con la formación y desarrollo de las raíces (Pasternak y Steinmacher, 2025). De forma general podemos decir que en el tratamiento compuesto por la suplementación de  $0.1 \text{ mg L}^{-1}$  de AIB tuvo los mejores resultados para la variedad Fianna, mientras que Mejía-Muñoz *et al.* (2006), En la papa ratona (*Oxalis tuberosa*) necesito un suplemento al medio de enraizamiento de  $0.5 \text{ mg L}^{-1}$  de AIB para obtener sus mejores resultados, lo que pone de manifiesto la respuesta especie – específica a las condiciones del medio de cultivo y a las concentraciones exógenas de los reguladores del crecimiento vegetal según plantean Pasternak y Steinmacher (2025), para el largo camino *in vitro* con los múltiples desafíos a que se ven expuestos los tejidos vegetales.

Aunque se obtuvo enraizamiento *in vitro* en los tratamientos control sin reguladores del crecimiento (27.3 %) este es insuficiente para lograr una supervivencia exitosa en la fase de aclimatación, contrario a lo obtenido por Rigato *et al.* (2001), donde plantean el enraizamiento *ex vitro* de segmentos uninodales previamente obtenidos de plántulas *in*

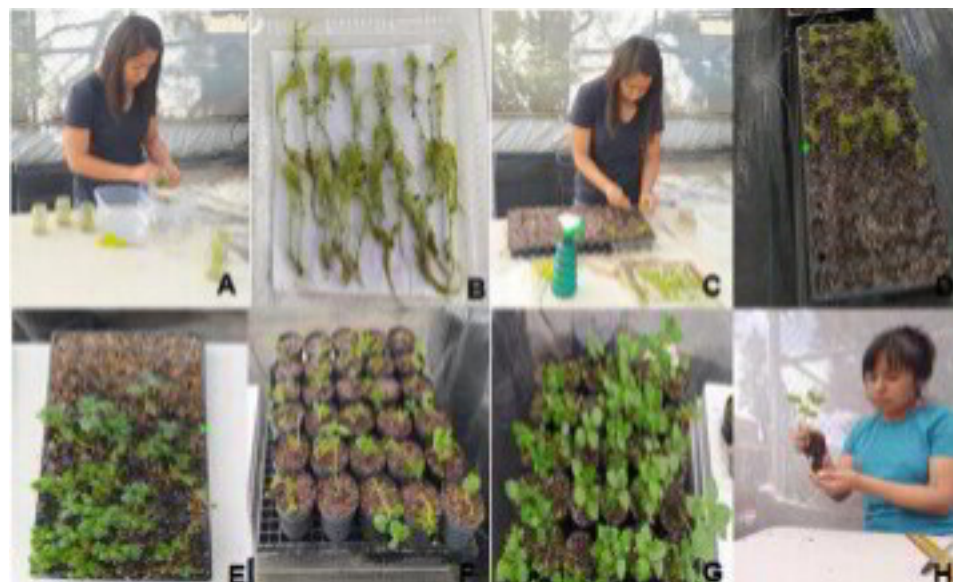
*vitro* pero combinados con la técnica de autotrofismo en hidroponía, lo cual indica que los segmentos ya llevaban previa acumulación de reguladores del crecimiento en sus tejidos y debido a eso se favoreció la producción de raíces, pero se logra un 100 % de enraizamiento y mejores resultados en número (4.12) y longitud (2.03) de las raíces con la adición del AIB, comparable con los resultados descritos por Araque–Barrera *et al.* (2018), donde obtuvo un número promedio de raíces por plántula de 7.08 y una longitud de 5.46 cm en la variedad de papa “Diacol Capiro”.

#### **4.5 Aclimatación *ex vitro* de las vitroplantas de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna**

En la etapa de aclimatación, el musgo *sphagnum* (Peat moss) facilitó la adaptación, desarrollo y el crecimiento saludable de las plántulas (Cuadro 4), ayudando a mantener temperaturas más estables alrededor de las plántulas lo que conlleva a un 100 % de supervivencia de las vitroplantas aclimatadas. Siendo este resultado más favorable a los obtenidos por Araque–Barrera *et al.* (2018), para las variedades “Parda Pastusa” y “Diacol Capiro” con 93 % y 95 % de supervivencia, respectivamente. De igual manera ofreció una alta capacidad para retener agua, lo que ayudó a mantener un nivel de humedad adecuado alrededor de las plántulas, reduciendo el estrés hídrico durante la aclimatación. En cambio, la termolita demostró ser un componente valioso, gracias a su capacidad para mejorar la aireación, moderar la retención de humedad, mantener una estructura estable y liviana que favorece el desarrollo radicular y el éxito general de las plantas trasplantadas (Cuadro 4 y figura 17). El peat moss y termolita, resultaron ser una mezcla idónea para la etapa de aclimatación de plántulas de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna, ya que ambos materiales complementaron sus propiedades para crear un ambiente propicio para el crecimiento radicular y el establecimiento de las plantas (Figura 17).

**Cuadro 4.** Aclimatación de las plántulas de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna mediante la evaluación de diferentes parámetros: mínimo (Min), máximo (Max) y promedio de la altura de las plántulas, el número de hojas y la longitud de las raíces. Desviación estándar (DS) y error estándar (ES) calculados.

Parámetros evaluados	Altura (cm)	Número de hojas	Longitud de las raíces (cm)
<b>Min</b>	9.0	7.0	8.6
<b>Max</b>	21.3	24.0	29.5
<b>Promedio</b>	13.4	11.9	16.5
<b>DS</b>	2.6	4.0	5.9
<b>ES</b>	0.5	0.7	1.1



**Figura 17.** Manejo de las plántulas de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna en la etapa de aclimatación. Lavado de las plántulas (A); clasificación (B); siembra de las plántulas (C - E); trasplante de las plántulas a macetas con 20 días de aclimatación (F - G); y toma de datos de las plántulas aclimatadas trascurrida 6 semanas (H).

## 5.0 CONCLUSIONES

Luego de realizada la interpretación y discusión a los resultados obtenidos de esta experimentación podemos llegar a las siguientes conclusiones:

1. Se logró el desarrollo de un protocolo para la micropropagación de *Solanum tuberosum* L. variedad Fianna, a partir de segmentos nodales.
2. Se obtuvo el establecimiento bajo condiciones de cultivo *in vitro* de la papa variedad “Fianna”, para lo cual observamos claramente una diferenciación altamente significativa entre los diferentes tratamientos evaluados en cada etapa de desarrollo del cultivo.
3. Las etapas de multiplicación, crecimiento y desarrollo *in vitro* la respuesta de los tejidos vegetales estuvo dominada por una influencia positiva de los reguladores del crecimiento vegetal y los componentes del medio de cultivo, en específico para el BAP y la sacarosa como fuente principal de energía.
4. En la etapa de enraizamiento *in vitro* obtuvimos los mejores resultados en el tratamiento que incluía al AIB como auxina predominantemente estimuladora de la producción de raíces.
5. Por último, cabe señalar que se obtuvo un alto porcentaje de plántulas aclimatadas demostrando así, la factibilidad de esta metodología para la producción de plántulas de papa variedad “Fianna” de alta calidad y homogeneidad, las cuales pueden ser empleadas como semilla básica para la siembra en campo.

## 6.0 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Agramonte, D (2000) Métodos biotecnológicos para la producción de semilla original de papa (*Solanum tuberosum* L.), variedad Desireé. Tesis de Doctorado. IBP. UCLV. Santa Clara
- Almeyda L., I. H.; Rocha P., M. A.; Piña R., J. and Martínez S., J. P. 2001. The use of polymerase chain reaction and molecular hybridization for detection of Phytoplasma sp. in different plant species in Mexico. *Rev. Mex. Fitopatol.* 19:1–9.
- Almeyda-León, Isidro Humberto, Sánchez-Salas, José Alfredo, & Garzón-Tiznado, José Antonio. (2008). Vectores causantes de punta morada de la papa en Coahuila y Nuevo León, México. *Agricultura técnica en México*, 34(2),141-150 [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S056825172008000200001&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S056825172008000200001&lng=es&tlng=es).
- Araque – Barrera, E.J.; Bohórquez – Quintero, M. de los A.; Pacheco – Díaz, J.E.; Correa – Mora, L.Y.; Urquijo – Ruiz, J.S.; Castañeda – Garzón, S.L.; Pacheco – Maldonado, J.C. (2018). Propagación y tuberización *in vitro* de dos variedades de papa. *Ciencia en Desarrollo*, 9(1): 21 – 31.
- Arellano García, M. A., Villavicencio Gutiérrez, E. E., & García Garza, S. J. (2010). *Producción de plántulas y semilla prebásica de variedades comerciales de papa libres de enfermedades*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional del Noreste, Campo Experimental Saltillo. Folleto Técnico No. MX-0-310702-37-03-15-09-41. ISBN: 978-607-425-301-6.
- Arile Ariste, A.; Ojeda – Zacarías, M. del C.; Lozoya – Saldaña, H.; Olivares – Sáenz, E.; García – Zambrano, E.A.; Ibarra – López, A. y Cham, A.K. (2025). Optimized *in vitro* micropropagation and microtuber production in potato (*Solanum tuberosum* L.) through apical buds using hormone regulation and tissue culture techniques. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 13(1): 86 – 96.

- Bin–Azizan, MNA (2017). The Effect of BAP and NAA Treatment on Micropropagation of *Cucumis sativus* L.. *International Journal of Science and Research (IJSR)* 6 (11): 170–176. DOI: 10.21275/ART20177887
- Borba, N. (2008) La papa un alimento básico. Posibles impactos frente a la introducción de papa transgénica. RAP-AL Uruguay.
- Borda, C.C.; Toledo, J.; Golmirzaie, A.; Roca., W. 2001. Efecto de inductores de tuberización y fotoperiodo sobre la microtuberiación de *Solanum tuberosum* L. *in vitro*. [http://www.redbio.org/portal/encuentros/enc\\_2001/poster/01/posterpdf/01-100.pdf](http://www.redbio.org/portal/encuentros/enc_2001/poster/01/posterpdf/01-100.pdf)
- Butler, C.D. and Trumble, J.T. 2012. The potato psyllid, *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Triozidae): life history, relationship to plant diseases, and management strategies. *Terrestrial Arthropod Reviews* 5: 87–111.
- Cadena H., M. A. 1987. Efecto de genotipos de plantas, aplicaciones de antibióticos e insecticidas en el control de la "Punta Morada de la Papa". *Agric. Téc. Méx.* 13(1):3–13.
- Cadena H., M. A. 1999. Potato purple top in Mexico: III. Effects of plant spacing and insecticide application. *Rev. Mex. Fitopatol.* 17(2):91–96.
- Cadena H., M. A. y Galindo A., J. 1985. Reducción de la incidencia de la "Punta Morada de la Papa" por medio de fechas de siembra, genotipo de la planta y aplicación de insecticidas. *Rev. Mex. Fitopatol.* 3(2):100–104.
- Cadena H., M. A.; Guzmán P., I. R.; Díaz V., M.; Zavala Q., T. E.; Magaña T., O. S.; Almeyda L., I. H.; López D., H.; Rivera P., A. y Rubio C., O. A. 2003. Distribución, incidencia y severidad del pardeamiento y la brotación anormal en los tubérculos de papa en Valles Altos y Sierras de los estados de México, Tlaxcala y el Distrito Federal, México. *Rev. Mex. Fitopatol.* 21(3):248–259.
- Castro, P., López, M., & Pérez, J. (2012). Estrategias de manejo de cultivos en zonas áridas. *Revista de Agricultura Sustentable*, 18(3), 45-60.
- Centro Internacional de la Papa (CIP). (2009). *Informe anual 2009: Innovación para la seguridad alimentaria*. <https://hdl.handle.net/10568/88229>

- Centro Internacional de la Papa (CIP). (2024). Datos y cifras de la papa. <https://cipotato.org/es/potato/potato-facts-and-figures/>
- Cevallos M., F.; Gutiérrez M., H.; Alvarado G., O. G. y Valdéz L., C. G. 2001. Aplicación de PCR para el diagnóstico de "Punta Morada" de la papa (*Solanum tuberosum* L.). Memorias del XXVIII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Fitopatología. Resumen F-29. Querétaro, Qro., México.
- Ciubotaru, R.M., Cortiñas, A.J., Oyedele, J., Parnell, S., Schrader, G. and Zancanaro, G. 2018. Work-plan and methodology for EFSA to develop plant pest survey guidelines for EU Member States. EFSA Support Publ. 15(3): 1399E.
- Coleman, W., Donnelly, D., & Coleman, S (2001). Potato microtubers as research tools: A review. *American Journal of Potato Research* 78: 47-55  
10.1007/BF02874824.
- Cortez, M. R., & Hurtado, G. (2002). *Guía técnica: Cultivo de la papa*. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA). San Salvador, El Salvador.
- Cuesta, X., Andrade, H., Bastidas, O., Quevedo, R. y Sherwood, S. 2002. Botánica y mejoramiento Genético. En: Pumisacho, M. y Sherwood, S. (eds.). El cultivo de la papa en el Ecuador. Quito. INIAP, CIP. pp. 85-169.
- Daquinta, M, Espinosa P, Escalona M, Rodríguez R, Guerra M (2001) Bromeliad micropropagation in temporary immersion system. *Journal of the Bromeliad Society* 51(2): 80-85
- Delgado-Ortiz, Juan Carlos, Beltrán-Beache, Mariana, Cerna-Chávez, Ernesto, Aguirre-Urbe, Luis Alberto, Landero-Flores, Jerónimo, Rodríguez-Pagaza, Yolanda, & Ochoa-Fuentes, Yisa María. (2019). *Candidatus Liberibacter solanacearum* patógeno vascular de solanáceas: diagnóstico y control. *TIPO. Revista especializada en ciencias químicobiológicas* , 22 , e177.
- Díaz, H. L. B., Arzuaga, L. G., & Fereres, A. (2021). Situación de vectores de CaLsol que infectan solanáceas en la región de las Américas. Implicaciones para Cuba. I: Elementos de su identificación, distribución y bioecología . *Revista de*

- Donnelly D., Coleman W., Coleman S. 2003. Potato microtuber production and performance: a review. *American Journal of Potato Research*. 80: 103-115.
- Etienne, H.; Berthouly, M. 2002. Temporary immersion systems in the plant micropropagation. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 69: 215-231.  
<https://doi.org/10.1023/A:1015668610465>
- Flores, O.A., Alemán, N.I.A. y Notario, Z.M.I. 2008. Alternativas para el manejo de la punta morada de la papa. Pp. 66-89. In: Flores Olivas, A. y Lira Saldivar, R.H. (eds). *Detección, Diagnóstico y Manejo de la Enfermedad Punta Morada de la Papa*. Ed. Parnaso. Málaga, España.
- Flores-Olivas, A. 2013. Etiología, detección molecular y manejo integrado del síndrome de la punta morada de la papa en México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 31: 8-9
- FONTAGRO. (2022). *Propagación in vitro, una alternativa para la conservación y propagación de variedades nativas de papa en Colombia y Bolivia*.  
<https://www.fontagro.org/new/noticias/434/es/propagacion-in-vitro-una-alternativa-para-la-conservacion-y-propagacion-de-variedades-nativas-de-papa-en-colombia-y-bolivia>
- García-Ávila, Clemente de Jesús, Valenzuela-Tirado, Gilda Abigail, Florencio-Anastasio, José Guadalupe, Ruiz-Galván, Isabel, Moreno-Velázquez, Magnolia, Hernández-Macías, Bárbara, López-Buenfil, José Abel, Bravo-Pérez, Daniel, Pineda-Ríos, José Manuel, Quezada-Salinas, Andrés, & Ávila-Quezada, Graciela. (2018). Organismos asociados a daños en tubérculos de papa en postcosecha. *Revista mexicana de fitopatología*, 36(2), 308-320. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1801-1>
- Garzón T., J.A.; Bujanos M., R. y Marín J., A. (2007). Manejo integrado de *Paratuberculosis* (*Bactericera cockerelli* Sulc). Folleto para productores No. 54. CIRNO-INIFAP.
- González – Castillo, D.A.A. y Chavarría – Reyes, M.A. (2016). Microtuberización del cultivar de papa (*Solanum tuberosum* L.) Banba en Biorreactores Económicos

de Inmersión Temporal. Trabajo de Graduación presentado a la consideración del honorable tribunal examinador como requisito para optar al grado de ingeniero Agrónomo. UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA, Managua, Nicaragua.

- González, C.A., Villavicencio, G.E.E., Torres, T.M.A., Zamora, V.V.M. and Almeyda, L.I.H. 2014. Efecto de antioxidantes y señalizadores en plantas de papa (*Solanum tuberosum* L.) infectadas con *Candidatus Liberibacter solanacearum* bajo condiciones de invernadero. *Revista Colombiana de Biotecnología* 16: 114-121.
- Goyer, C., & Lebas, B. (2006). Potato leafroll virus (PLRV) in potato plants. In *Plant virus diseases* (pp. 123-136). *Springer*. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4234-5\\_10](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4234-5_10)
- Hawkes, J.G. (1990) The Potato: Evolution, Biodiversity and Genetic Resources. *American Potato Journal*, 67, 733-735. <https://doi.org/10.1007/BF03044023>
- Hernández C., V. (2008). *Producción de papa Cultivo que crece a la sombra del TLC*. <http://empresarios.mundoejecutivo.com.mx/articulos.php>
- Hernández, G.V., Salas, M.M.A., Frías, T.G.A., Aguirre, U.L.A., Flores, O.A. y Almeyda L.I.H. 2018. Importancia de la Semilla-Tubérculo y la Maleza *Lycium berlandieri* (Dunal) para la Epidemia de Punta Morada de la Papa. *Revista Bio Ciencias*. 5(2), e442. doi: 10.15741/revbio.05.02.09.
- Huamán, Z (2007) Descriptores morfológicos de la papa (*Solanum tuberosum* L.). Centro de la conservación de la biodiversidad agrícola de Tenerife. CCBAT. Tenerife
- Instituto de Biotecnología, Universidad Nacional de Colombia. (2017). *Efecto de las hormonas vegetales y el fotoperiodo en la producción de microtubérculos de papa (Solanum tuberosum L.)*. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 19(2), 25–34.
- Khatoon, S.; Liu, W.; Ding, C.-b.; Liu, X.; Zheng, Y.; Zhang, Y.; Chen, X.; Rauf, M.; Alghabari, F.; Shah, Z.H. (2022). *In Vitro* Evaluation of the Effects of BAP Concentration and Pre-Cooling Treatments on Morphological, Physiological, and

Biochemical Traits of Different Olive (*Olea europaea* L.) Cultivars. *Horticulturae* 2022, 8, 1108. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8121108>

Leyva L., N. E. y Martínez S., J. P. 2001b. Detección, caracterización y aspectos ecológicos de fitoplasmas asociados a enfermedades de la papa. *In: Memorias del XXVIII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Fitopatología*. Resumen F-85. Querétaro, Qro., México.

López – Gómez, G.A. (2019). Establecimiento *in vitro* de papa (*Solanum tuberosum* L.) –variedad Purén– a partir de meristemas. Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniera Agrónoma en el Grado Académico de Licenciatura. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

López Gómez, G. A. (2019). *Establecimiento in vitro de papa (Solanum tuberosum L.) - variedad Purén- a partir de meristemas* [Tesis de grado, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano]. Escuela Agrícola Panamericana.

Maramorosch, K. 1998. Current status of potato purple top wilt. *Inter. J. Trop. Plant Dis.* 16:61–72.

Martínez, A, C., & Ojeda F, N. (2023). *Morfología de la planta de papa (Solanum tuberosum L.)*. Punta Arenas, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Ficha Técnica INIA Kampenaike. N° 215. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/68894>

Mejía-Muñoz, J. M.; González-Castillo, S.; Mora-Aguilar, R.; Rodríguez-Pérez, J. E. (2006). Propagación *in vitro* de papa ratona (*Oxalis tuberosa* Mol.). *REVISTA CHAPINGO SERIE HORTICULTURA*, 12 (2): 231-237.

Melgoza, V.C.M., León, S.C.R., López, V.J.A., Hernández, E.L.A., Velarde, F.S. and Garzón, T.J.A. 2018. Presencia de *Candidatus Liberibacter solanacearum* en *Bactericera cockerelli* Sulc asociada con enfermedades en tomate, chile y papa. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9(3): 499-509

Moreno M. y Oropeza M. (2017). Efecto de las hormonas vegetales y el fotoperiodo en la producción de microtubérculos de papa (*Solanum tuberosum* L.) *Rev. Colomb. Biotecnol.* XIX (2): 29 – 38

- Munyanza, J.E. (2012). Zebra Chip Disease of Potato: Biology, Epidemiology, and Management. *Am. J. Pot Res* DOI 10.1007/s12230-012-9262-3.
- Muroshige y Skoog (1962). A Revised Medium for Rapid Growth and Bio Assays with Tobacco Tissue Culture. *Physiologia Plantarum*, 15: 473-215.
- NIVAP. 2011. Fundación Consultiva Holandesa de la Patata. Base de datos europea de patatas cultivadas. <https://www.europotato.org/varieties/view/Fianna-E>
- Ortiz-Salgado, F.(2015). El cultivo *in vitro* de papa (*Solanum tuberosum*) con diferentes proporciones de auxina/citocinina. Universidad Autónoma de México. Facultad de estudios superiores de Cuautitlan.
- Parga, T.V.M. 2008. Mejoramiento genético por resistencia a punta morada de la papa (*Solanum tuberosum* L.). Pp:49- 56. In: Flores Olivas, A. y Lira Saldivar, R.H. (eds). Detección, Diagnóstico y Manejo de la Enfermedad Punta Morada de la Papa. Ed. Parnaso. Málaga, España.
- Pasternak, T.; Steinmacher, D. Plant Tissue Culture *In Vitro*: A Long Journey with Lingering Challenges. *Int. J. Plant Biol.* **2025**, 16, 97. <https://doi.org/10.3390/ijpb16030097>
- Pérez – Guzmán. J. (2024). Micropropagación *in vitro* de dos variedades de papa para la obtención de semilla prebásica. *Revista Científica EMINENTE*, 8 (1): 49 – 56.
- Rehman M.U.; Chaudhary, M.; Kumar S. (2023). Effect of BAP (6-Benzylaminopurine) and NAA ( $\alpha$ -Naphthalene Acetic Acid) treatment on Micropropagation of *Adansonia digitata* L. *Plant Cell Biotech. Mol. Biol.*, 24 (3-4): 42 – 51.
- Rigato, S.; González, A.; Huarte, M. (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*, 12: 110 – 120.
- Rodríguez, Luis Ernesto. (2010). Origen y evolución de la papa cultivada. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 28 (1), 9-17.
- Rubio, C. O. A.; Rangel, G. J.; Flores, L. R.; Magallanes, G. J. V.; Díaz, H. C.; Zavala, Q. T.; Rivera, P. A.; Cadena, H. M.; Rocha, R. R.; Ortíz, T. C.; López, D. H.; Díaz, V. M.; Paredes, T. A. 2000. Manual para la Producción de Papa en las

- Sierras y Valles Altos del Centro de México. Libro Técnico Núm. 1. SAGAR. INIFAP. CIRCE. Campo Experimental Valle de Toluca. Zinacantepec, Estado de México. 79 p.
- Rubio-Covarrubias, O. A., Cadena-Hinojosa, M. A., Vázquez-Carrillo, M. G. (2013). *Manejo integrado de la punta morada de la papa en el Estado de México*. Folleto Técnico Núm. 2. INIFAP-CIRCE Campo Experimental Valle de México. Sitio Experimental Metepec.
- Salazar-Laureles, M. E., & Soto-Hernández, R. M. (2019). Efecto de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en la tuberización *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. durante tres subcultivos. *Agrociencia*, 53(8), 1233–1245. <https://agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/1872>
- Sarkar D., (2008). The signal transduction pathways controlling in planta tuberization in potato: an emerging synthesis". *Plant Cell Rep.* 27(1):1-8.
- Scherwinski, P., Luces, G.R. (2004). Organogênese de ápices meristemáticos de batata em meios de isolamento e multiplicação *in vitro*. *Horticultura Brasileira* 22(2). 197-201 p
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2020). *La papa como alimento básico*. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/la-papa-como-alimento-basico>
- Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural (2023). *Genotipos de papa para una producción de mayor calidad en Coahuila y Nuevo León*. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/genotipos-de-papa-para-unaproduccion-de-mayor-calidad-en-coahuila-y-nuevo-leon?idiom=es>
- SIAP. (2023). Sistema de Información Agropecuaria. Estadística agrícola del cultivo de la papa a nivel nacional y estatal. México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Snyder, W.C.; Thomas, H.E. and Fairchild, S.J. (1946). Spindling orhair sprout of potato. *Phytopathology* 36(11):897-904.
- Spooner, D.M. y A. Salas. (2006). Structure, biosystematics, and genetic resources. pp. 1-39. En: Gopal, J. y S.M.P. Khurana (eds.). Handbook of potato production,

improvement, and postharvest management. Haworth's Press, Inc., Binghampton, NY.

- Spooner, D.M., D. Fajardo y G.J. Bryan. 2007. Species limits of *Solanum berthaultii* Hawkes and *S. tarijense* Hawkes and the implications for species boundaries in *Solanum* sect. *Petota*. *Taxon* 56(4), 987-999.
- Terry, F. A. J., Vergara, Y. R., Jiménez, E. A., Peñalver, D. A., Rodríguez, R. B., López, R. C., Peralta, M. P., & Martínez, O. G. (2004). Efecto de una formulación de propóleo en los medios de cultivo para la micropropagación de la papa var Desirée. *Biotecnología Vegetal*, 4(2), 91-96.
- Vignola, R., Watler, W., Vargas, C.A., y Morales, M. 2017. Prácticas efectivas para la reducción de impactos por eventos climáticos en el cultivo de papa en costa rica. Ficha técnica. Costa Rica. Pp 4.
- Villafranca, MJ, Varamendi J, Sota V, Mingo-Castel, AM (1998) Effect of physiological age of mother tuber and number of subcultura on *in vitro* tuberization of potato (*Solanum tuberosum*. L.). *Plant cell Report* 17: 787-790 <https://doi.org/10.1007/s002990050483>