



# Manual de micropropagación *in vitro* y producción de semilla pre básica de papa en casa malla



PERÚ

Ministerio  
de Desarrollo Agrario  
y Riego



Instituto Nacional de Innovación Agraria



MINISTERIO DE DESARROLLO AGRARIO Y RIEGO  
INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGRARIA  
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO  
TECNOLÓGICO

**Manual de micropropagación  
*in vitro* y producción de  
semilla pre básica de papa  
en casa malla**



PERÚ

Ministerio  
de Desarrollo Agrario  
y Riego



Instituto Nacional de Innovación Agraria

## MANUAL DE MICROPROPAGACIÓN *IN VITRO* Y PRODUCCIÓN DE SEMILLA PRE BÁSICA DE PAPA EN CASA MALLA

### Ministro de Desarrollo Agrario y Riego

Vladimir Germán Cuno Salcedo

### Viceministro de Desarrollo de Agricultura Familiar e Infraestructura Agraria y Riego

Orlando Hernán Chirinos Trujillo

### Viceministra de Políticas y Supervisión del Desarrollo Agrario

Carmen Inés Vegas Guerrero

### Presidente Ejecutivo del INIA

Jorge Juan Ganoza Roncal, M. Sc.

### © Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA)

### Primera edición digital:

Diciembre, 2025

### Publicado:

Diciembre, 2025

### Disponible en:

<https://repositorio.inia.gob.pe/>

### ISBN:

978-9972-44-236-0

### Editado por:

Instituto Nacional de Innovación Agraria

RUC : 20131365994

Dirección: Av. La Molina 1981, La Molina, Lima, Lima

Teléfono: (511) 240 2400

Correo Electrónico: [comite\\_publicaciones@inia.gob.pe](mailto:comite_publicaciones@inia.gob.pe)

### Compilación fotográfica:

PI PROSEM (CUI: 2361771) en las EEA Canaán, Baños del Inca, Andenes, Arequipa y Santa Ana

Todos los derechos reservados.

Prohibida la reproducción de este libro por cualquier medio, total o parcialmente, sin permiso expreso

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2025-15452

**Autores:** Vicky S. Tineo-Vargas, Luis A. Díaz Morales, José J. M. Toledo-Choquehuanca, María E. Portal-Huaccha, Karina Flores-Huisa, Omar Paitamala Campos, Daniel Matsusaka / **Colaboradores:** Wilber Toccas-Sulca, Kevin E. García-López, Jean P. Alvarez-Martinez, Alexandra A. Pacheco-Andrade, Esteffany Dávila-Rivera / **Editor General:** S. Yanett Chumbimune-Vivanco, José J. M. Toledo-Choquehuanca / **Revisión de contenido:** S. Yanett Chumbimune-Vivanco, Paúl Lama-Isminio / **Diseño y diagramación:** Italo Salvador Sandoval-Arteaga

# Tabla de contenido

Introducción	10
<b>CAPÍTULO I: PRODUCCIÓN DE SEMILLA DE CLASE GENÉTICA DE PAPA MEDIANTE MICROPROPAGACIÓN</b>	<b>12</b>
1. Micropropagación de plántulas <i>in vitro</i>	13
2. Importancia del cultivo <i>in vitro</i> de tejidos vegetales	14
3. Características del cultivo <i>in vitro</i> de tejidos vegetales	15
3.1. Ventajas	15
3.2. Limitantes	16
4. Medio de cultivo	17
4.1. Materiales, reactivos y equipos para la preparación del medio de cultivo Murashinge y Skoog	19
4.1.1. Insumos y materiales	20
4.1.2. Equipos de laboratorio	20
4.2. Procedimiento para la preparación del medio de cultivo	26
5. Etapas de la micropropagación <i>in vitro</i> de variedades de papa	31
5.1. Etapa I: Selección y preparación de la planta madre	32
5.2. Etapa II: Establecimiento del cultivo	33
5.3. Etapa III: Multiplicación y elongación	34
5.4. Etapa IV: Enraizamiento	35
5.5. Condiciones de incubación de plántulas	39
6. Principales dificultades fisiológicas en la micropropagación	40
6.1. Bajo o nulo crecimiento de hojas	40
6.2. Vitricación o hiperhidricidad	41
7. Control de calidad en cultivos <i>in vitro</i>	42
7.1. Identificación y manejo de contaminantes de cultivos <i>in vitro</i>	43
7.2. Evaluación de vigor de los cultivos <i>in vitro</i>	46
<b>CAPÍTULO II: PRODUCCIÓN DE SEMILLA PRE BÁSICA EN CASA MALLA</b>	<b>48</b>
8. Importancia de la semilla pre básica de papa (tuberculillos)	49
9. Características de la producción de semilla pre básica de papa en casa malla.	51
9.1. Ventajas	51
9.2. Limitantes	51
9.3. Materiales, insumos y equipos de cultivo en casa malla	52

<b>10. Infraestructura</b>	<b>54</b>
<b>10.1. Diseño</b>	<b>54</b>
<b>10.2. Importancia de la limpieza en la casa malla</b>	<b>58</b>
<b>10.3. Recomendaciones de bioseguridad e inocuidad</b>	<b>58</b>
<b>11. Preparación de sustrato</b>	<b>60</b>
<b>11.1. Componentes de sustrato</b>	<b>61</b>
<b>11.2. Preparación de sustrato en base a tierra negra</b>	<b>63</b>
<b>11.3. Preparación en base a sustrato de turba</b>	<b>64</b>
<b>11.4. Métodos de desinfección del sustrato</b>	<b>68</b>
<b>11.4.1. Método químico</b>	<b>68</b>
<b>11.4.2. Método biológico con <i>Trichoderma</i> spp.</b>	<b>71</b>
<b>12. Aclimatación y trasplante</b>	<b>72</b>
<b>12.1. Aclimatación de plántulas</b>	<b>72</b>
<b>12.2. Aclimatación utilizando bandejas para almácigo</b>	<b>73</b>
<b>12.3. Trasplante de plántulas</b>	<b>75</b>
<b>12.3.1. Trasplante por siembra directa</b>	<b>77</b>
<b>12.3.2. Trasplante a partir de almácigos</b>	<b>78</b>
<b>13. Manejo de Riego</b>	<b>79</b>
<b>13.1. Frecuencia y tiempo de riego</b>	<b>82</b>
<b>13.2. Calidad de agua</b>	<b>82</b>
<b>14. Fertilización</b>	<b>84</b>
<b>14.1. Fertilización de base</b>	<b>85</b>
<b>14.2. Fertilización de crecimiento y desarrollo</b>	<b>85</b>
<b>15. Manejo agronómico</b>	<b>88</b>
<b>15.1. Manejo sanitario de plagas y enfermedades</b>	<b>88</b>
<b>15.1.1. Principales insectos plaga en casa malla</b>	<b>88</b>
<b>15.1.2. Principales enfermedades en casa malla</b>	<b>93</b>
<b>15.2. Control de malezas y poda sanitaria</b>	<b>97</b>
<b>15.3. Aplicaciones foliares</b>	<b>99</b>
<b>15.4. Tutorado de camas</b>	<b>100</b>
<b>15.5. Aporque</b>	<b>102</b>
<b>16. Cosecha de tuberculillos</b>	<b>104</b>
<b>16.1. Clasificación de semillas</b>	<b>106</b>
<b>16.2. Comercialización de semilla de la clase genética</b>	<b>109</b>
<b>17. Referencias bibliográficas</b>	<b>110</b>



Preparación de medios de cultivo MS para plántulas *in vitro* de papa.  
Fuente: PROSEM – EEA Baños del Inca



Plántulas *in vitro* de papa variedad Perricholi cultivada en la EEA Baños del Inca - Cajamarca.  
Fuente: PROSEM- EEA Baños del Inca

# Presentación

La papa (*Solanum tuberosum* L.), cultivo de gran importancia alimentaria, económica y social a nivel mundial y de especial relevancia en la región andina del Perú, enfrenta limitaciones fitosanitarias que afectan su productividad y calidad. La propagación tradicional mediante tubérculos semilla favorece la acumulación y transmisión de fitopatógenos (virus, bacterias y hongos), provocando la degeneración progresiva del material genético y la reducción del rendimiento en campo.

Ante esta problemática, las Estaciones Experimentales Agrarias (EEA) del Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA: Canaán - Ayacucho, Andenes - Cusco, Santa Ana - Junín, Baños del Inca - Cajamarca, Arequipa e Illpa - Puno, han implementado sistemas de multiplicación rápida basados en la micropropagación *in vitro* y la producción de semilla pre básica en casa malla, aprovechando sus condiciones agroclimáticas favorables y la amplia diversidad genética de papas mejoradas y nativas conservadas en sus bancos de germoplasma.

El cultivo *in vitro* de tejidos vegetales constituye una herramienta esencial para la obtención de plántulas libres de patógenos, genéticamente uniformes y con identidad varietal asegurada. La micropropagación permite multiplicar de manera rápida y eficiente el material vegetal de alta calidad (plántulas *in vitro*), garantizando la base sanitaria y genética necesaria para los sistemas de producción de semilla de papa. En una primera fase, esta tecnología contribuye a la conservación del germoplasma, a la disponibilidad de semilla sana y a la sostenibilidad de los sistemas productivos, fortaleciendo la seguridad alimentaria y la competitividad agrícola nacional.

Por su parte, la producción de semilla pre básica de papa en casa malla representa la siguiente fase del sistema formal de producción de semilla de alta calidad. A partir de plántulas *in vitro* aclimatadas, se generan tubérculos de alta calidad genética, fisiológica y fitosanitaria bajo condiciones controladas. El manejo en casa malla reduce la incidencia de plagas y enfermedades, optimiza las condiciones de crecimiento y permite obtener material semilla con los más altos estándares de calidad, apto para continuar su multiplicación en las categorías básicas y registradas.

El presente manual, resultado del proyecto “Mejoramiento de la disponibilidad, acceso y uso de semillas de calidad de papa, maíz amiláceo, leguminosas de grano y cereales, en las regiones de Junín, Ayacucho, Cusco y Puno, 4 departamentos” con C.U.I. N° 2361771, integra ambos componentes, la micropropagación *in vitro* y producción de semilla pre básica en casa malla, aplicados a diferentes variedades de papa de importancia regional y nacional, como INIA 302 Amarilis, UNICA, Perricholi, Liberteña, INIA 303 - Canchán, INIA 309 - Serranita, Ccompis, Yungay, Capiro, Peruanita, entre otras. Su finalidad es ofrecer una guía técnica, práctica y estandarizada dirigida a investigadores, técnicos, productores de semillas y estudiantes de las ciencias agrarias, promoviendo el uso de tecnologías limpias y eficientes que aseguran un material genéticamente estable y de alto potencial productivo. De esta manera, el INIA contribuye al fortalecimiento del Sistema Nacional de Producción de Semilla de Calidad, impulsando el desarrollo agrícola sostenible y la seguridad alimentaria en las regiones andinas del Perú.

**Jorge Juan Ganoza Roncal, M. Sc.**  
Presidente Ejecutivo del INIA



Producción de plántulas de papa libres de enfermedades, mediante micropropagación *in vitro* en cámara de flujo laminar.  
Fuente: PROSEM- EEA Baños del Inca

# 1. Introducción

La papa (*Solanum tuberosum* L.) se constituye como el cultivo alimentario más importante a nivel mundial y desempeña un papel socioeconómico y cultural fundamental, especialmente en la región andina del Perú, considerado como centro de origen y diversificación. Pese a su vital importancia para la seguridad alimentaria nacional, la producción de papa se enfrenta a desafíos fitosanitarios crónicos que limitan significativamente su productividad. La propagación tradicional, que depende de la reutilización de tubérculos semilla, introduce un ciclo vicioso de degeneración genética y productiva, debido a la constante acumulación y transmisión de patógenos, principalmente virus, así como bacterias y hongos (Acuña et al., 2021; Galdames y Gutierrez, 2022). Esta problemática conduce inevitablemente a una reducción en los rendimientos por hectárea, afectando directamente la rentabilidad y el sustento de miles de agricultores.

Ante este panorama, el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), a través de sus Estaciones Experimentales Agrarias estratégicamente ubicadas en Canaán - Ayacucho, Andenes - Cusco, Santa Ana - Junín, Baños del Inca - Cajamarca, Illpa - Puno y Arequipa, ha asumido un rol protagónico en el desarrollo e implementación de tecnologías agrícolas de vanguardia. Este esfuerzo se centra en el aprovechamiento de las condiciones agro climáticas favorables de estas regiones y la vasta diversidad genética natural de las papas nativas en el Perú (Rizo, 2023). La solución tecnológica adoptada es la micropropagación mediante cultivo de tejidos *in vitro*, una herramienta fundamental que no solo asegura la disponibilidad del valioso germoplasma local, sino que también permite la producción masiva de material vegetal de alta calidad, libre de patógenos y con identidad genética garantizada.

El presente manual es el resultado de la investigación y transferencia tecnológica del INIA y tiene como principal objetivo optimizar los protocolos detallados para la micropropagación de variedades de papa de reconocido valor regional y nacional. Estas incluyen las variedades mejoradas INIA 303 - Canchán (ampliamente cultivada, de alto rendimiento y tolerancia al daño por *Phytophthora infestans*) e INIA 309 - Serranita (Alta calidad industrial y resistente al daño por *Phytophthora infestans*), junto con variedades que representan el valioso germoplasma peruano, como Ccompis y Peruanita (apreciadas por sus características culinarias y nutricionales), y las variedades de gran adaptación Yungay y Capiro, que han contribuido significativamente a la seguridad alimentaria del país en diversas altitudes (MINAGRI, 2015).

Además de la fase de laboratorio, el manual aborda de manera práctica la etapa de producción de semilla de papa pre básica (tuberculillos) en casa malla. Este segmento es crucial, ya que detalla la metodología para el escalamiento productivo del material *in vitro* bajo condiciones controladas. Se introduce una tecnología innovadora que integra la desinfección del sustrato mediante ozono ( $O_3$ ) y el riego oxigenado ( $O_2$ ), elementos que en conjunto optimizan la sanidad y el crecimiento de las plántulas. La producción de tuberculillos en casa malla, desde la preparación del sustrato y el trasplante, hasta el manejo fitosanitario y la cosecha, representa la base de una cadena de producción de semilla de calidad certificada.

En síntesis, este manual técnico y práctico se ofrece a los agricultores, técnicos y profesionales del sector agrario como una guía integral para la adopción de una alternativa tecnológica sostenible. Su implementación no solo potenciará la multiplicación rápida y eficiente de material de siembra libre de patógenos, sino que contribuirá al fortalecimiento de la cadena de valor de la papa, contribuyendo decisivamente al desarrollo agrícola competitivo y a la seguridad alimentaria de las regiones andinas del Perú.

# **CAPÍTULO I:**

## **PRODUCCIÓN DE SEMILLA DE CLASE GENÉTICA DE PAPA MEDIANTE MICROPROPAGACIÓN**

## 1. Micropropagación de plántulas *in vitro*

La micropropagación es una técnica biotecnológica que se fundamenta en el principio de totipotencia celular, el cual permite a una célula o fragmento vegetal regenerar una planta completa. Este método posibilita la multiplicación clonal rápida (Figura 1) de plantas a partir de pequeñas porciones de tejido, como yemas, meristemos o segmentos nodales, cultivadas en medios nutritivos artificiales y bajo condiciones controladas de temperatura, luz y asepsia (Birmeta et al., 2022).

A través de este proceso se obtienen plantas genéticamente uniformes y libres de patógenos, conocidas como plantas *in vitro*, que constituyen la base del material genético en programas de producción de semillas y mejoramiento vegetal. Gracias a su alta tasa de multiplicación y la calidad sanitaria del material obtenido, la micropropagación se ha consolidado como una herramienta esencial para la conservación de especies, la producción de semilla certificada y la propagación masiva de cultivos con alto valor comercial (Birmeta et al., 2022).



**Figura 1.** Micropropagación *in vitro* de papa en cámara de flujo laminar.  
Fuente: PROSEM- EEA Baños del Inca

## 2. Importancia del cultivo *in vitro* de tejidos vegetales

El cultivo *in vitro* de tejidos vegetales es una herramienta indispensable en la agricultura moderna, que permite la propagación masiva, rápida y controlada de las plantas con fines comerciales, científicos y de conservación. Facilita la obtención de material vegetal libre de patógenos y genéticamente uniforme, garantizando la homogeneidad y calidad de los cultivos. El cultivo *in vitro* posibilita una multiplicación eficiente en espacios reducidos y tiempos cortos, optimizando el uso de recursos y acelerando la disponibilidad de material vegetal. Contribuye a la conservación *ex situ* de la biodiversidad (Figura 2), manteniendo genotipos valiosos bajo condiciones controladas. Además, permite una producción continua durante todo el año, independiente de las condiciones ambientales, asegurando un suministro constante de material vegetal de alta calidad para la industria agrícola (Abdalla et al., 2022; Alexopoulos y Petropoulos, 2021).



**Figura 2.** Conservación de la biodiversidad de la papa, mediante el cultivo *in vitro* de tejidos vegetales.

Fuente: PROSEM- EEA Baños del Inca

## 3. Características del cultivo *in vitro* de tejidos vegetales

### 3.1. Ventajas



Permite una propagación vegetativa **rápida y a gran escala**, favoreciendo la multiplicación masiva de plantas en espacios reducidos y durante todo el año, sin depender de las condiciones climáticas.



Facilita la obtención de material vegetal **libre de patógenos**, contribuyendo a la recuperación, saneamiento y preservación del potencial productivo de semillas y germoplasma de valor agrícola mediante el cultivo de meristemos y la termoterapia.



Asegura la **fidelidad y trazabilidad genética** del material propagado, garantizando la producción de clones uniformes, sanos y de alta calidad, indispensables en los programas de certificación de semillas y mejoramiento genético.



Promueve la **conservación *in vitro*** de bancos de germoplasma en condiciones seguras, controladas y de bajo requerimiento de espacio, con costos significativamente menores que los de la conservación en campo.



Facilita el **intercambio de germoplasma** bajo altos estándares de bioseguridad, al tratarse de material vegetal libre de virus, bacterias y viroides que puedan causar enfermedades.



Permite la **aclimatación** progresiva y posterior transferencia de las plantas a invernaderos, donde completan su desarrollo y aseguran la continuidad de la producción de material de siembra de calidad.



Es una herramienta estratégica en los programas de **mejoramiento genético**, al facilitar la regeneración de plantas transformadas o mejoradas con técnicas biotecnológicas avanzadas, orientadas a la obtención de cultivos más productivos, resistentes y sostenibles (Quillas, 2024).

## 3.2. Limitantes



La variación somaclonal es la aparición de **mutaciones genéticas** o epigenéticas durante el cultivo *in vitro*, que genera plantas con características fenotípicas distintas a las de la planta original. Aunque es indeseable en micropropagación, su ocurrencia es mínima si se aplican protocolos estandarizados, se controlan las condiciones de cultivo y se maneja adecuadamente el material vegetal.



La implementación de un laboratorio de cultivo *in vitro* requiere una **inversión inicial** significativa (Figura 3), debido a la adquisición de equipos especializados, infraestructura adecuada y suministros de alta calidad necesarios para garantizar condiciones asépticas y controladas durante todas las etapas del cultivo.



La micropropagación exige un alto nivel de **especialización técnica**, con conocimientos en biotecnología vegetal, preparación de medios de cultivo, técnicas de esterilización y asepsia, además de una formación continua para asegurar la eficiencia del proceso y la calidad del material propagado (Quillas, 2024).



**Figura 3.** Laboratorio de cultivo *in vitro* de tejidos vegetales, área de preparación de medios y materiales en la EEA Baños del Inca, Cajamarca.  
Fuente: PNR y T / PROSEM- EEA Baños del Inca

## 4. Medio de cultivo

El medio de cultivo es el sustrato principal que provee los nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas en condiciones *in vitro*. Se inicia con la preparación de un medio artificial semi sólido, utilizando la base de micronutrientes, macronutrientes y vitaminas del medio Murashige y Skoog (MS) (Murashige y Skoog, 1962). La composición de este medio se modifica según la especie a cultivar, como se detalla en la Tabla 1.

La preparación del medio MS se ajusta según las condiciones de cada laboratorio y el objetivo específico (multiplicación, conservación, cultivo de meristemos, entre otros). Para el cultivo *in vitro* de papa, el medio puede prepararse a partir de soluciones concentradas de cada componente (Figura 4) o mediante el uso de Murashige y Skoog (1962) con vitaminas. Así, el medio final para la etapa de multiplicación clonal contiene minerales (macro/micronutrientes), vitaminas, aminoácidos, azúcares, agua destilada y un agente solidificante (phytagel o agar-agar).



**Figura 4.** Preparación de soluciones concentradas de nutrientes, para el medio de cultivo Murashige y Skoog.

Fuente: PROSEM- EEA Baños del Inca

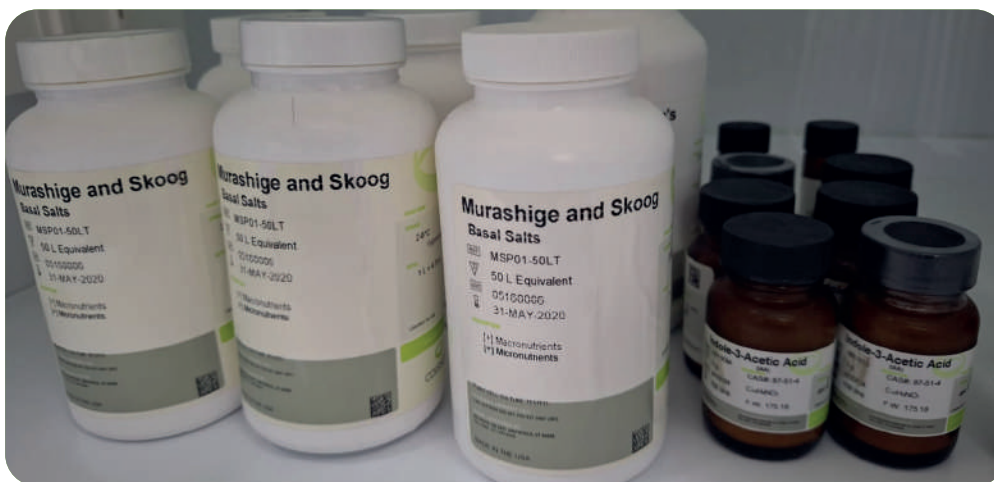
**Tabla 1.** Componentes de soluciones concentradas del medio MS (Murashige y Skoog), modificado para la micropropagación de papa

Solución	Componente	Fórmula química	Cantidad (g)	Volumen final (mL)
Macronutrientes	Nitrato de amonio	$\text{NH}_4\text{NO}_3$	16,5	1 000
	Nitrato de potasio	$\text{KNO}_3$	19,0	
	Cloruro de calcio dihidratado	$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	4,4	
	Fosfato monobásico de potasio	$\text{KH}_2\text{PO}_4$	1,7	
	Sulfato de magnesio heptahidratado	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	7,4	
Micronutrientes	Ácido bórico	$\text{H}_3\text{BO}_3$	0,62	1 000
	Sulfato de manganeso tetrahidratado	$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1,69	
	Sulfato de zinc heptahidratado	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0,86	
	Yoduro de potasio	$\text{KI}$	0,083	
	Molibdato de sodio dihidratado	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0,025	
	Sulfato de cobre pentahidratado	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0,0025	
	Cloruro de cobalto hexahidratado	$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0,0025	
Quelato de hierro	Sulfato ferroso heptahidratado	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0,5568	100
	EDTA disódico dihidratado	$\text{Na}_2\text{EDTA} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0,7448	
Vitaminas	Tiamina-HCl	$\text{C}_{12}\text{H}_{17}\text{ClN}_4\text{OS} \cdot \text{HCl}$	0,04	100
Vitaminas	Pantotenato de calcio	$\text{C}_{18}\text{H}_{32}\text{CaN}_2\text{O}_{10}$	0,20	100
Vitaminas	Myo-inositol	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	2,0	200

## 4.1. Materiales, reactivos y equipos para la preparación del medio de cultivo *in vitro*

Los componentes que conforman el medio de cultivo para multiplicación clonal de plantas *in vitro* de papa, son reactivos químicos que van a influir directamente en el desarrollo y fisiología de la planta:

- **Murashige y Skoog vitaminado:** medio de cultivo artificial más utilizado en la micropropagación (Figura 5), este medio contiene el balance de macronutrientes, micronutrientes y vitaminas (tiamina, pantotenato de calcio, glicina, ácido nicotínico y piridoxina).
- **Phytigel o agar - agar:** agentes gelificantes que se utilizan para dar consistencia al medio de cultivo, el phytigel facilita la observación de cualquier tipo de contaminación presente en el medio por generar una apariencia translúcida.
- **Sacarosa (azúcar blanca refinada):** principal fuente de carbono y energía para las células en cultivo *in vitro*; participa activamente en el metabolismo y crecimiento celular, y contribuye al mantenimiento del potencial osmótico adecuado del medio de cultivo.
- **Myo-inositol:** compuesto esencial que favorece la síntesis de membranas, metabolismo celular y el crecimiento de tejidos en cultivo *in vitro*.
- **Agua de coco (endospermo líquido del fruto):** suplemento líquido natural rico en fitohormonas, aminoácidos y vitaminas; estimula el crecimiento y la diferenciación de tejidos, aumentando así la eficiencia del cultivo *in vitro*.



**Figura 5.** Medio de cultivo Murashige y Skoog comercial.

Fuente: PROSEM- EEA. Baños del Inca

### 4.1.1. Materiales e insumos

- Mango de bisturí
- Bisturí #11
- Pinzas quirúrgicas
- Pipetas de 1, 5 y 10 mL
- Vaso de precipitado de 1 000 mL
- Placas Petri
- Probeta de 50, 100 y 1 000 mL
- Varilla de vidrio
- Barra magnética
- Tapers de plástico polipropileno de 500 mL
- Frascos de vidrio.
- Cajas de policarbonato (magenta GA7)
- Mechero de alcohol
- Lejía
- Jabón líquido
- Alcohol de 70° y 96°
- Alcohol en gel de 70°
- Papel toalla
- Mandil
- Mascarillas 3 pliegues
- Gorras o tocas descartables
- Cubre zapatos descartables

### 4.1.2. Equipos de laboratorio

Para el adecuado desarrollo de las actividades de micropropagación, es indispensable contar con equipos especializados que permitan asegurar las óptimas condiciones de trabajo, entre los más importantes tenemos:



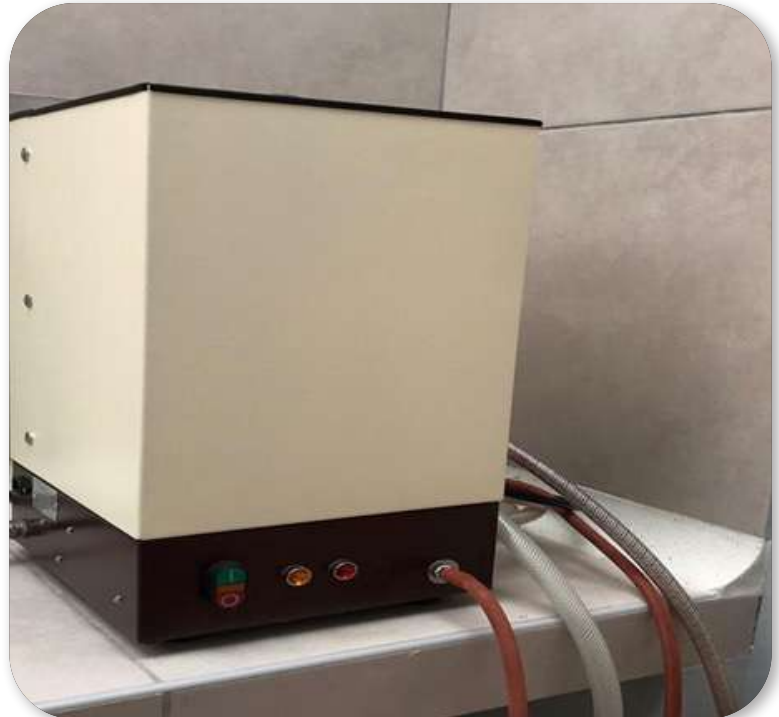
**Cámara de flujo laminar:** equipo indispensable donde se realiza la micropropagación *in vitro*, cuenta con un filtro HEPA (Filtro de aire de alta eficiencia para partículas) por donde circula el aire y retiene partículas contaminantes de hasta  $0,3 \mu\text{m}$ , proporcionando en el interior de la cámara un ambiente estéril.



**Autoclave:** Equipo donde se esterilizan los medios de cultivo y materiales mediante calor húmedo, generando una temperatura de  $121 \text{ }^\circ\text{C}$ , y una presión de 15 psi, por 20 min, condiciones que aseguran la eliminación total de microorganismos y esporas.



**Estufa:** equipo donde se esteriliza el material de vidrio y quirúrgico mediante calor seco, generando una temperatura de 180 °C durante 2 horas.



**Destilador de agua:** equipo utilizado para eliminar impurezas y sales del agua potable, obteniendo agua destilada de mayor pureza, apta para preparar medios de cultivo.



**Potenciómetro o pH-metro:** equipo utilizado para medir y ajustar el pH del medio de cultivo y otras soluciones.

**Balanza analítica:** equipo de alta precisión utilizado para medir masas muy pequeñas con exactitud, garantizando el pesaje preciso de reactivos y componentes del medio de cultivo.





**Esterilizador de perlititas:** equipo que esteriliza instrumentos de metal, llegando a una temperatura de 250°C por 30 segundos, para eliminar bacterias y esporas en tiempos mínimos.



**Agitador magnético:** equipo que mezcla y homogeniza líquidos mediante una barra magnética giratoria, proporcionando soluciones uniformes.



**Dispensador de medio de cultivo:** permite medir y distribuir volúmenes precisos de medio de cultivo, garantizando uniformidad en los envases.

**Microondas:** equipo que calienta y lleva a ebullición el medio de cultivo para disolver el agente gelificante (agar o phytigel).



## 4.2. Procedimiento para la preparación del medio de cultivo



**1.** Pesar 4,4 g de Murashige Skoog con vitaminas, 30 g de sacarosa, y 0,1 g de myo-inositol, mezclarlos con agua destilada en un vaso de precipitado de 1 000 mL.

**2.** Adicionar 20 mL de agua de coco en el vaso de precipitado con la mezcla anterior y enrasar con agua destilada hasta 1 000 mL.





**3.** Disolver la mezcla de la solución nutritiva con un agitador magnético.

**4.** Medir y ajustar el pH del medio nutritivo entre 5,6 a 5,7, regular en caso sea necesario con soluciones de HCl (0,1N) o NaOH (0,1N).





5. Agregar 3 g de phytigel en la solución del medio de cultivo.

6. Llevar el medio de cultivo al microondas por aproximadamente 10 min, hasta ebullición y disolución del phytigel.





**7.** Dispensar 40 mL del medio en tapers o cajas magenta, según corresponda.

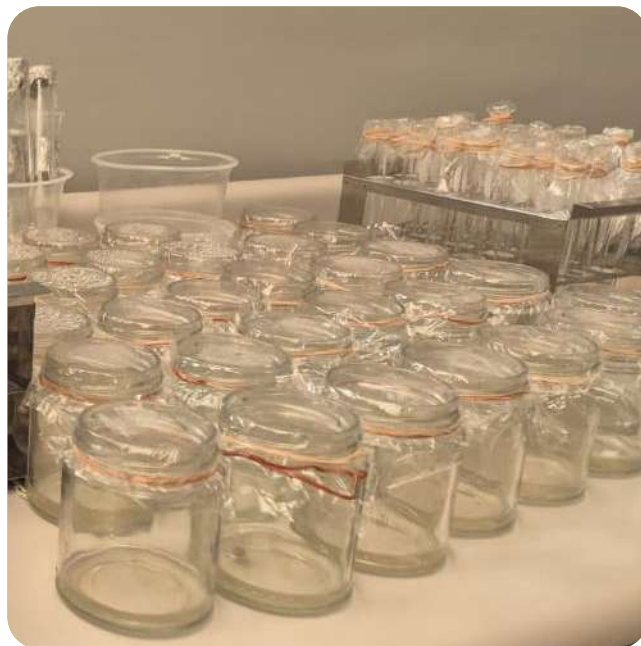
**8.** Dispensar 20 mL del medio de cultivo en frascos de vidrio, este volumen varía dependiendo de la capacidad del envase.





**9.** Esterilizar en el autoclave a 121 °C y a 15 psi de presión por 20 min.

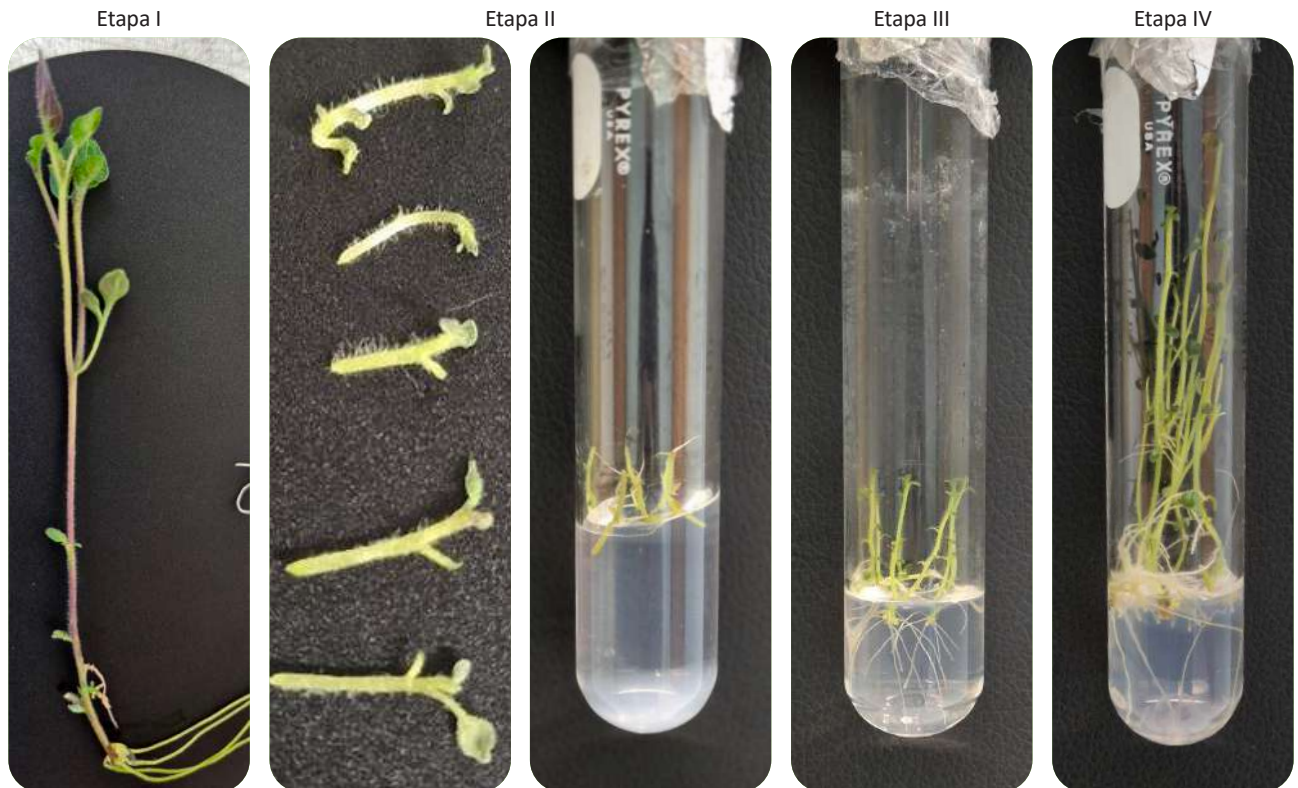
**10.** Llevar los medios a la estantería hasta el momento de usar, o a refrigeración a 4 °C para mayor preservación.



## 5. Etapas de la micropropagación *in vitro* de variedades de papa

Una vez preparado y esterilizado el medio de cultivo, el paso siguiente es la siembra de pequeños segmentos nodales de la planta para generar nuevas plantas *in vitro* (micropropagación). En el caso de papa, la micropropagación se da dentro de los 25 a 30 días desde el establecimiento de cultivo hasta la obtención de una nueva planta completa. La Figura 6 muestra fotografías representativas de las etapas de micropropagación, que a continuación son descritas:

- **Etapa I.** Selección y preparación de la planta madre (día 1).
- **Etapa II.** Establecimiento del cultivo (días 1-8).
- **Etapa III.** Multiplicación y elongación del material vegetal (días 8-25).
- **Etapa IV.** Enraizamiento de plántulas (días 8-20) (Fernández et al., 2019; Roca y Mroginski, 1991).



**Figura 6.** Etapas de la micropropagación *in vitro* de papa.

Fuente: PROSEM- EEA Andenes

## 5.1. Etapa I: Selección y preparación de la planta madre

En esta etapa se selecciona la planta madre, entendida como el ejemplar vegetal que sirve como fuente principal para obtener explantes (segmentos de brotes). La elección se basa en su edad fisiológica, vigor y estado fitosanitario, priorizando plántulas con raíces bien desarrolladas, tallos robustos y crecimiento activo, que aseguren explantes viables y de alta calidad (Figura 7A).

Las plantas madre se mantienen en el Banco de Germoplasma del Programa Nacional de Raíces y Tuberosas (PNyRT) del INIA, en los laboratorios de cultivo *in vitro* de tejidos vegetales (Figura 7B). Estas plántulas provienen inicialmente del proceso de establecimiento *in vitro* y limpieza viral realizado en los laboratorios del INIA, o pueden ser solicitadas del banco de germoplasma del Centro Internacional de la Papa (CIP). Este material base garantiza la identidad genética y la sanidad fitosanitaria necesarias para la micropropagación.



**Figura 7.** Plántulas vigorosas seleccionadas variedad INIA 303 - Canchán (A) y plántulas madre del banco de germoplasma de la EEA Baños del Inca - Cajamarca (B).

Fuente: PROSEM- EEA Andenes y Baños del Inca

## 5.2. Etapa II: Establecimiento del cultivo

En esta etapa, empleando una cabina de flujo laminar esterilizada, se extraen explantes vigorosos de la planta madre que consisten en segmentos de tallo con una yema, como se muestra en la Figura 8A para yemas axilares y en la Figura 8B para yemas apicales. Luego, estos explantes se siembran en el medio de cultivo para que se adapten a las condiciones hasta generar los primeros brotes. El procedimiento de esta etapa se detalla a continuación:

- Retirar las plántulas madre de los tubos de ensayo y colocarlas en placas Petri estériles.
- Cortar segmentos de tallo de aproximadamente 1.5 cm, eliminando hojas grandes y raíces, dejando una yema axilar o apical por segmento (Figura 8C).
- Sembrar por separado un máximo de 20-25 segmentos con yemas apicales por cada frasco de vidrio o caja Magenta. Si se utilizan tapers, coloque 40 segmentos por cada uno.
- Sembrar un máximo de 20-25 segmentos nodales con yemas axilares por cada frasco o caja Magenta; en tapers, aumente la cantidad a 40 segmentos.
- Tapar los frascos y sellar con film o parafilm, evitando un sellado totalmente hermético para permitir un intercambio gaseoso mínimo. Finalmente, rotular con el nombre de la variedad y la fecha de siembra.



**Figura 8.** Segmentos nodales con una yema axilar (A), yema apical (B) de la variedad Libertea y corte de segmentos apicales de plántulas de papa en cabina de flujo laminar (C).

Fuente: PROSEM- EEA Baños del Inca

### 5.3. Etapa III: Multiplicación y elongación

En esta etapa se produce el crecimiento activo de los segmentos de brote previamente establecidos, caracterizado por una intensa división y elongación celular que conduce al desarrollo de nuevas plántulas *in vitro*. Este proceso incrementa la cantidad de material clonal, correspondiente a plantas *in vitro* genéticamente uniformes, en cada ciclo de subcultivo (período de crecimiento y resiembra en un nuevo medio).

Durante esta etapa se observa el desarrollo foliar, la formación de yemas y el alargamiento de los tallos (Figura 9A). Una elongación adecuada asegura plántulas vigorosas, homogéneas y estructuralmente firmes, aptas para el trasplante o para nuevos pases de multiplicación. En el cultivo *in vitro* de papa, esta etapa culmina con la obtención de plántulas vigorosas y bien desarrolladas entre los 25 y 30 días después de la siembra, dependiendo de la variedad y las condiciones del medio de cultivo (Figura 9B).



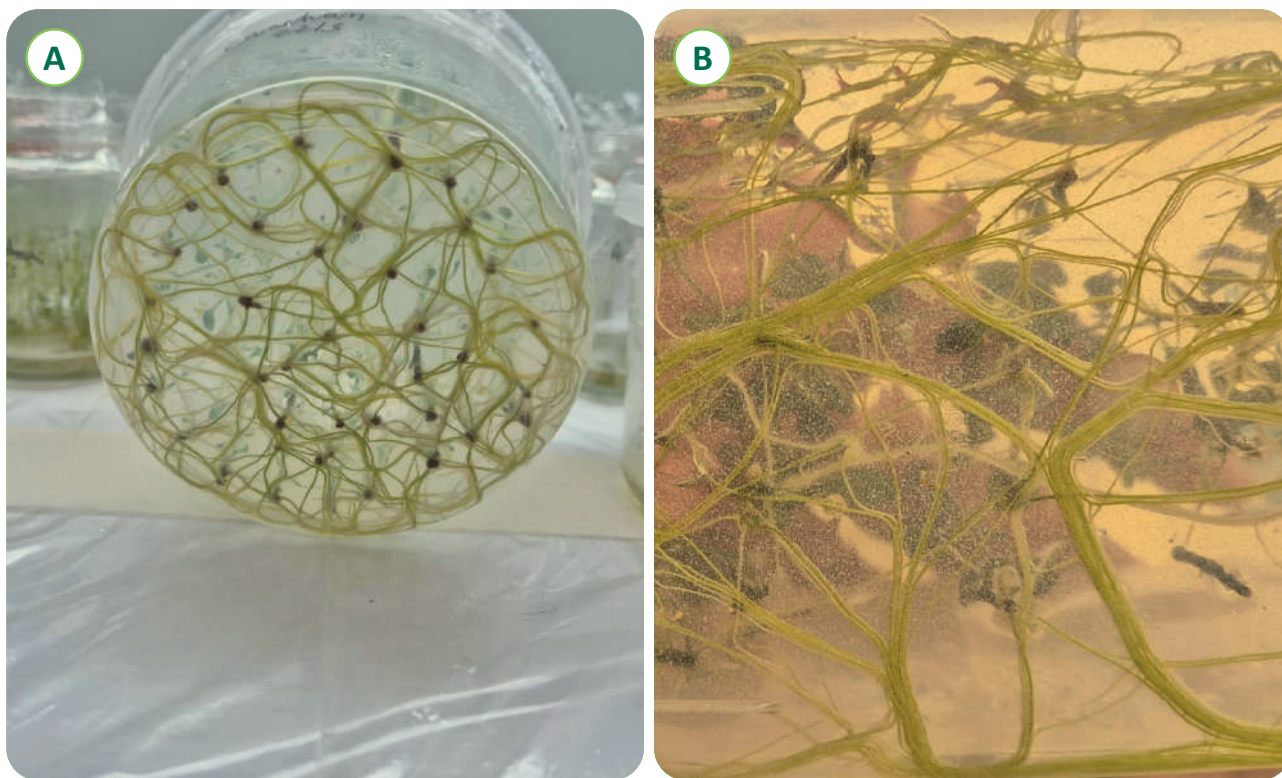
**Figura 9.** Crecimiento activo de segmentos de brote de papa, variedad UNICA (A), y plántulas de la variedad INIA 328 - Kulli papa a los 25 días posteriores a la siembra (B).

Fuente: PROSEM- EEA Baños del Inca y Andenes

## 5.4. Etapa IV: Enraizamiento

En esta etapa se realiza el enraizamiento de las plántulas *in vitro*, proceso que involucra la formación, crecimiento y maduración de raíces que consolidan el sistema radical y favorecen la supervivencia del material vegetal durante la fase de aclimatación (Fernández et al., 2019; Roca y Mroginski, 1991).

En el caso del cultivo *in vitro* de papa, no es necesario utilizar un medio específico de enraizamiento, ya que las raíces se desarrollan de manera natural a partir de la base de los segmentos establecidos en el mismo medio de multiplicación (Figura 10A y 10B). Esta capacidad rizogénica característica de la papa permite obtener plántulas vigorosas, con raíces funcionales y listas para pasar a la etapa de aclimatación.



**Figura 10.** Formación inicial de raíces en plántulas de papa de la variedad Libertena (A) y enraizamiento óptimo en plántulas de la variedad INIA 328 - Kulli papa en tapers de polipropileno (B).

Fuente: PROSEM- EEA Baños del Inca y Andenes

A continuación, se describe el procedimiento para el establecimiento de los explantes en los medios de cultivo:

1. Retirar la plántula madre seleccionada, que se encuentra en tubo de ensayo o frasco y colocarla en una placa Petri estéril.



2. Retirar cuidadosamente las hojas y raíces de las plántulas con la ayuda de pinzas y bisturí estériles.



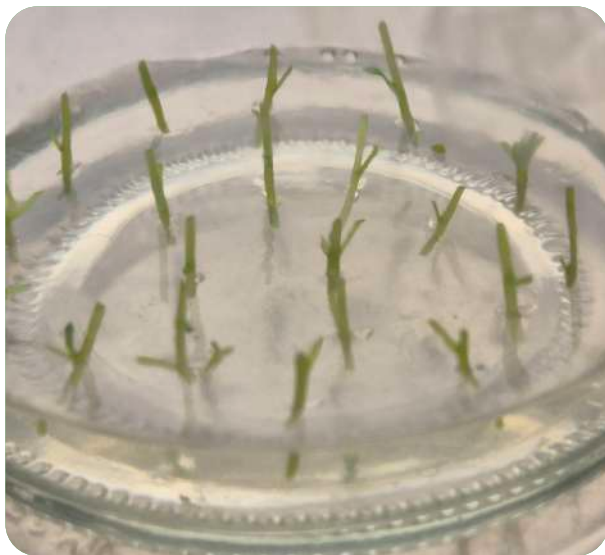
3. Cortar los ápices y segmentos nodales, con cortes suaves y en bisel, manteniéndolos separados



4. Sembrar 20 yemas apicales en cada frasco de vidrio, 25 en cajas Magenta o 40 si son tapers, de la misma manera con los segmentos nodales.



**5.** Segmentos nodales recién sembrados en el medio de cultivo MS, en cabina de flujo laminar.



**6.** Segmentos con yemas apicales recién sembrados en el medio de cultivo MS, en cabina de flujo laminar.



**7.** Plántulas *in vitro* en fase de crecimiento mantenidas en el área de incubación, en frascos debidamente identificados por variedad y fecha de siembra.





## Ejemplo práctico del proceso de multiplicación de plántulas *in vitro* en el laboratorio

Este proceso de multiplicación de plántulas, permite obtener miles de plantas genéticamente idénticas a partir de una sola planta madre. En la Figura 11A se muestra una planta con óptimas características fenotípicas, y en la Figura 11B se observa una planta con raíces adventicias y ramificación, menos recomendable para la resiembra.

La Tabla 2 muestra la secuencia temporal de la multiplicación de plántulas *in vitro* de papa, desde el establecimiento inicial del cultivo hasta la obtención de la cantidad proyectada mediante subcultivos periódicos cada 25 días. En la fase inicial se introducen 60 plántulas, que generan en promedio tres explantes por unidad (aunque este número puede variar a 4 o 5 según el tamaño de la planta). Cada explante se regenera y da lugar a nuevas plántulas hijas, triplicando el número de plantas en cada subcultivo gracias a la alta capacidad de regeneración de los segmentos nodales.

Tras el primer subcultivo (25 días), se obtienen 180 plántulas, aumentando progresivamente a 540, 1 620, 4 860, 14 580 y finalmente 43 740 plántulas al sexto subcultivo (150 días). Este esquema ejemplifica el gran potencial de multiplicación clonal del sistema *in vitro*, permitiendo producir material vegetal uniforme, vigoroso y libre de patógenos en un tiempo reducido.

**Tabla 2.** Proceso de producción de plántulas *in vitro* de papa

1° mes	INICIO	25 días	50 días	75 días	100 días	125 días	150 días
Establecimiento del cultivo		1° resiembra	2° resiembra	3° resiembra	4° resiembra	5° resiembra	6° resiembra
N° de plántulas	60 plántulas	$60 \times 3 = 180$	$180 \times 3 = 540$	$540 \times 3 = 1\ 620$	$1\ 620 \times 3 = 4\ 860$	$4\ 860 \times 3 = 14\ 580$	$14\ 580 \times 3 = 43\ 740$



**Figura 11.** Plántula con características óptimas para la resiembra (A) y plántula con características menos recomendables para la resiembra (B).  
Fuente: PROSEM - EEA Andenes

## 5.5. Condiciones de incubación de plántulas

Las condiciones de incubación deben garantizar un crecimiento uniforme, vigoroso y fisiológicamente estable de las plántulas *in vitro* (Figura 12). Se recomienda mantener los siguientes parámetros ambientales:

- Temperatura: entre 20 y 22 °C, óptima para el crecimiento de *Solanum tuberosum* L. en condiciones asépticas.
- Fotoperíodo: 16 horas de luz y 8 horas de oscuridad, para favorecer la diferenciación foliar.  
Intensidad lumínica: entre 40 y 60  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (equivalente a 3 000–4 000 lux).
- Tipo de luz: iluminación fluorescente o LED de luz blanca fría, con espectro equilibrado en las longitudes de onda azul y roja.



**Figura 12.** Área de incubación y crecimiento de plántulas en laboratorio de cultivo *in vitro* de papa en condiciones de luz artificial.  
Fuente: PROSEM- EEA Baños del Inca

## 6. Principales dificultades fisiológicas en la micropropagación

### 6.1. Bajo o nulo crecimiento de hojas

El escaso o nulo crecimiento de las hojas, como se observa en la Figura 13, se debe a diversos factores fisiológicos y ambientales. Entre las causas más frecuentes se encuentra la deficiencia de nutrientes esenciales en el medio que puede restringir la síntesis de proteínas estructurales necesarias para el crecimiento foliar.

Por otro lado, la alteración de factores físicos del cultivo *in vitro*, como una intensidad lumínica insuficiente, temperatura fuera del rango óptimo, el uso de recipientes con baja permeabilidad gaseosa o una aireación limitada, puede generar estrés fisiológico y reducir la transpiración, afectando directamente la expansión de las hojas.



**Figura 13.** Plántula *in vitro* de papa con un pobre crecimiento de hojas.

Fuente: PROSEM- EEA Baños del Inca

## 6.2. Vitrificación o hiperhidricidad

La vitrificación o hiperhidricidad se produce por un exceso de agua en los tejidos de las plántulas *in vitro*, lo que altera el equilibrio hídrico celular e impide una transpiración normal de la plántula. Esta condición provoca una apariencia vítrea o translúcida, como se observa en la Figura 14, acompañada de tejidos frágiles, turgentes y agrandados.

El fenómeno puede originarse por una baja concentración del agente gelificante, que incrementa la disponibilidad de agua libre en el medio. Asimismo, una baja relación aire/medio de cultivo reduce la oxigenación y la eliminación de etileno, favoreciendo la hiperhidricidad de los tejidos.



**Figura 14.** Planta *in vitro* de papa con vitrificación de tejido, presenta una apariencia translúcida y agrandamiento de tejido.  
Fuente: PROSEM- EEA Baños del Inca

## 7. Control de calidad en cultivos *in vitro*

El control de calidad es una actividad esencial en el laboratorio de cultivo *in vitro*, ya que asegura el cumplimiento de altos estándares. Según el Reglamento Específico de Semilla de Papa (RDN°010-2018-INIA), se debe garantizar la calidad fitosanitaria, fisiológica y genética establecida (INIA, 2018). Los principales estándares de control de calidad incluyen:

- **Sanidad vegetal:** las plantas *in vitro* deben estar totalmente libres de contaminantes como hongos, bacterias y virus (patógenos y no patógenos). Para garantizar la calidad sanitaria, se realizan análisis serológicos o moleculares de diagnóstico, como control interno del INIA y en laboratorios autorizados por el SENASA.
- **Estabilidad fisiológica:** consiste en mantener las plántulas *in vitro* sin signos de estrés como vitrificación, clorosis o necrosis. Una plántula fisiológicamente estable conserva un color verde uniforme, vigor y un desarrollo foliar con capacidad constante de multiplicación (Figura 15).
- **Trazabilidad:** consiste en registrar de forma continua todos los procesos de micropropagación, desde el origen de la planta madre y en cada subcultivo, asegurando la trazabilidad y seguimiento del material vegetal.
- **Identidad genética:** consiste en mantener la fidelidad varietal del material propagado, asegurando que no haya mezclas varietales ni cambios en las características morfológicas o genéticas del cultivar, utilizando explantes de alta calidad, correctamente seleccionados e identificados y un número controlado de subcultivos.



**Figura 15.** Plántulas *in vitro* de papa variedad Perricholi, con calidad fisiológica estable.  
Fuente: PROSEM- EEA Baños del Inca

## 7.1. Identificación y manejo de contaminantes de cultivos *in vitro*

La detección temprana de contaminantes microbianos es crucial para mantener la calidad sanitaria del material vegetal *in vitro*. Los controles preventivos permiten identificar y eliminar oportunamente los cultivos contaminados antes que la contaminación se propague. Este monitoreo debe realizarse semanalmente durante la fase de crecimiento de los cultivos. Siendo los principales tipos de contaminantes:

- **Contaminantes bacterianos:** se manifiestan generalmente como turbidez en el medio de cultivo, colonias viscosas o mucilaginosas de diversos colores (blanco, amarillento, crema o rosado) y cambios en el pH que provocan acidificación del medio. En muchos casos, generan un olor característico (fétido o fermentativo).
- **Contaminantes fúngicos (mohos):** aparecen como micelios (estructuras del hongo) algodonosos o aterciopelados de rápido crecimiento, visibles sobre la superficie o en la base del medio, con tonalidades blancas (Figura 16), verdes (Figura 17), grises o negras según la especie fúngica involucrada (*Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, entre otros).
- **Contaminantes fúngicos (levaduras):** forman colonias cremosas, brillantes y de crecimiento rápido, capaces de fermentar los azúcares del medio (Suárez, 2020). Se diferencian de las bacterias por formar colonias más grandes, opacas y de textura pastosa o cremosa como se observa en la Figura 18.

Asimismo, se cuentan con las siguientes medidas de control:

- Realizar inspecciones visuales semanales en los cultivos en crecimiento.
- Descartar de inmediato los cultivos contaminados, previa esterilización en autoclave (121 °C, 20 min).
- Mantener una estricta higiene y esterilidad en el área de trabajo, uso correcto de EPP (mascarillas, guantes, mandil, entre otros), y aplicación rigurosa de protocolos de desinfección en ambientes, equipos, materiales y superficies.



**Figura 16.** Contaminación fúngica con tonalidades blancas en cultivos *in vitro* de papa.  
Fuente: PROSEM- EEA Andenes y Baños del Inca



**Figura 17.** Contaminación fúngica con tonalidades verdes en cultivos *in vitro* de papa.  
Fuente: PROSEM- EEA Andenes y Baños del Inca



**Figura 18.** Contaminación por levaduras en cultivos *in vitro* de papa, se observan colonias cremosas.  
Fuente: PROSEM- EEA Baños del Inca

## 7.2. Evaluación de vigor de los cultivos *in vitro*

Esto permite monitorear el estado fisiológico y la calidad del material propagado. Se debe realizar periódica y sistemáticamente mediante la observación directa de indicadores morfológicos y fisiológicos, como clorosis, marchitez, pérdida de turgencia, necrosis, crecimiento reducido o irregular, y formación irregular de raíces o brotes. Este seguimiento continuo permite detectar a tiempo síntomas de estrés, vitrificación o cualquier plántula deforme, posibilitando ajustes en las condiciones de cultivo para asegurar plantas vigorosas y clonalmente uniformes, como se observa en la Figura 19A y 19B.



**Figura 19.** Plántulas vigorosas *in vitro* de papa sin anomalías en el crecimiento, de la variedad INIA 303 - Canchán (A) y Perricholi (B).  
Fuente: PROSEM- EEA Andenes y Baños del Inca

***“La semilla pre básica: donde la ciencia y la naturaleza se unen para garantizar el futuro y la seguridad alimentaria”***





# **CAPÍTULO II:** **PRODUCCIÓN DE SEMILLA PRE BÁSICA EN CASA MALLA**

## 8. Importancia de la semilla pre básica de papa

La papa (*Solanum tuberosum* L.) ocupa el cuarto lugar entre los cultivos alimentarios más relevantes del mundo, después del maíz, el trigo y el arroz, tanto en términos de producción como de consumo (Wijesinha-Bettoni y Mouillé, 2019). Este tubérculo representa una fuente fundamental de carbohidratos, proteínas y micronutrientes, lo que la convierte en un elemento esencial de la dieta humana (Peęksa y Miedzianka, 2021).

De manera similar a la tendencia global, en el Perú la papa tiene una gran importancia económica y cultural (Sifuentes y Cornejo, 2021). En el año 2023, su producción nacional superó los cinco millones de toneladas, equivalente al 1,79 % de la producción mundial (FAO, 2023). En ese mismo periodo, la región Arequipa contribuyó con 325 911 toneladas (MIDAGRI, 2023). Por ello, el cultivo de papa constituye un pilar en la economía de los productores y agricultores, tanto en los valles costeros como en las zonas altoandinas del país (Colquehuanca y Blanco, 2021).

A pesar de su relevancia, el rendimiento del cultivo de papa ha mostrado una disminución en su productividad, principalmente debido a la limitada disponibilidad de semillas de alta calidad, cuya proporción es actualmente inferior al 0,3 % a nivel nacional y aún más baja en la región de Arequipa (Pérez et al., 2024). A este problema se suman prácticas agronómicas inadecuadas, como el uso excesivo de fertilizantes y pesticidas, que contribuyen al deterioro del suelo, la alteración de la microbiota y la contaminación ambiental (Arcos y Zúñiga, 2016). En este contexto, se plantea la necesidad de aumentar la producción mediante el empleo de semillas de calidad (Pinedo-Taco, 2023), las cuales se distinguen por su elevada sanidad fitosanitaria, así como por su superior calidad fisiológica y genética (Pérez et al., 2024). Solo mediante el uso de semillas de calidad y un buen manejo agronómico es que se pueden obtener tubérculos de calidad en las cosechas.

Frente a las dificultades cada vez más evidentes que enfrenta la actividad agraria, resulta necesario innovar en metodologías que fortalezcan cada una de las etapas del proceso productivo. En este contexto, la calidad de la semilla constituye el primer eslabón fundamental. Al respecto, el INIA, a través de sus Estaciones Experimentales Agrarias, ha optimizado tecnologías para la producción de plántulas *in vitro* y semillas prebásica de papa, correspondientes a la Clase Genética, conforme a lo establecido en el Reglamento Específico de Semillas de Papa del SENASA. A partir de esta clase se obtiene la Clase Certificada, en sus categorías básica, registrada, certificada y autorizada, fortaleciendo la calidad de la semilla disponible para los productores y potenciando la primera etapa de la cadena productiva del cultivo de papa.

En la Figura 20 se aprecia la producción y el escalamiento de semilla pre básica, que se logra a partir de plántulas *in vitro* en casa malla, hasta obtener la semilla básica en campo para su certificación. El presente manual muestra detalladamente diferentes metodologías para la producción de tuberculillos de calidad, utilizando tecnologías aplicadas a infraestructura, suelos, riego y fertilización.



**Figura 20.** Monitoreo de la producción de papa variedad Yungay en la casa malla en la EEA Canaán, Huamanga, Ayacucho.  
Fuente: PROSEM- EEA Canaán

## 9. Características de la producción de semilla pre básica de papa en casa malla.

### 9.1 Ventajas



Al utilizar material genéticamente estable obtenido mediante técnicas de cultivo *in vitro*, se permite **conservar las características** varietales originales, garantizando homogeneidad y estabilidad en las generaciones posteriores de semilla producida.



El uso de material vegetal libre de patógenos y el manejo en ambientes protegidos contribuyen **al incremento de la productividad** y al desarrollo de tubérculos prebásicos de mayor calidad y uniformidad.



El uso de sustratos esterilizados y **ambientes controlados**, reduce el riesgo de contaminación y promueve un crecimiento sano de las plantas, sobre todo en las etapas iniciales de tuberización (Figura 21).



Los sistemas de casa malla e invernadero han sido validados en diversas regiones, demostrando su eficacia en distintos ambientes y favoreciendo la **producción sostenible** en zonas altoandinas y de clima variable.

### 9.2 Limitantes



Las plántulas obtenidas *in vitro* presentan menor tolerancia que aquellas producidas en campo, por lo que son altamente **susceptibles** a morir si no se siguen adecuadamente las recomendaciones para su cuidado y proceso de aclimatación.



La producción de semilla pre básica de papa debe estar limitada a solo dos variedades como máximo por casa malla, reduciendo la **capacidad productiva de variedades** que se pueden producir en un solo espacio.



El riego debe estar limitado a métodos que no generen un **exceso de humedad** en las hojas de las plantas de papa, debido a que se favorece el desarrollo de enfermedades ocasionadas por la presencia de hongos fitopatógenos; se recomienda únicamente el riego por goteo.

## 9.3 Materiales, insumos y equipos de cultivo en casa malla

### 9.3.1 Materiales

- Herramientas manuales: pala, rastrillo, hoz de mano (serrucho de arco), pala de mano.
- Mochila fumigadora de 20 L.
- Carretilla
- Asperjadora manual
- Tutoros de madera
- Cernidora
- Componentes para sistema de riego HDPE (polietileno de alta densidad) de ½ pulgada (conectores de rosca, codos, tes y tapones)
- Cinta de riego
- Cinta métrica o wincha
- Jarras plásticas de 1 y 2 L.
- Probetas de 50 y 500 mL

### 9.3.2 Insumos

- Sustrato de turba
- Fibra de coco 0-7 mm de granulometría
- Perlita agrícola 2-6 mm de granulometría
- Compost cernido y/o humus de lombriz
- Agroquímicos solubles (Nitrato de amonio, ácido fosfórico, sulfato de potasio, nitrato de calcio)
- Solución hidropónica
- Enraizante líquido
- Carboxin + Thiram (fungicida)

### 9.3.3 Equipos

- Medidor de pH digital
- Balanza digital
- Generador de nano oxígeno
- Generador de ozono (Modelo QLA-106M, Voltaje 220 V/60 HZ)



**Figura 21.** Plántulas vigorosas de papa variedad Yungay en casa malla.  
Fuente: PROSEM- EEA Canaán

## 10. Infraestructura

### 10.1 Diseño

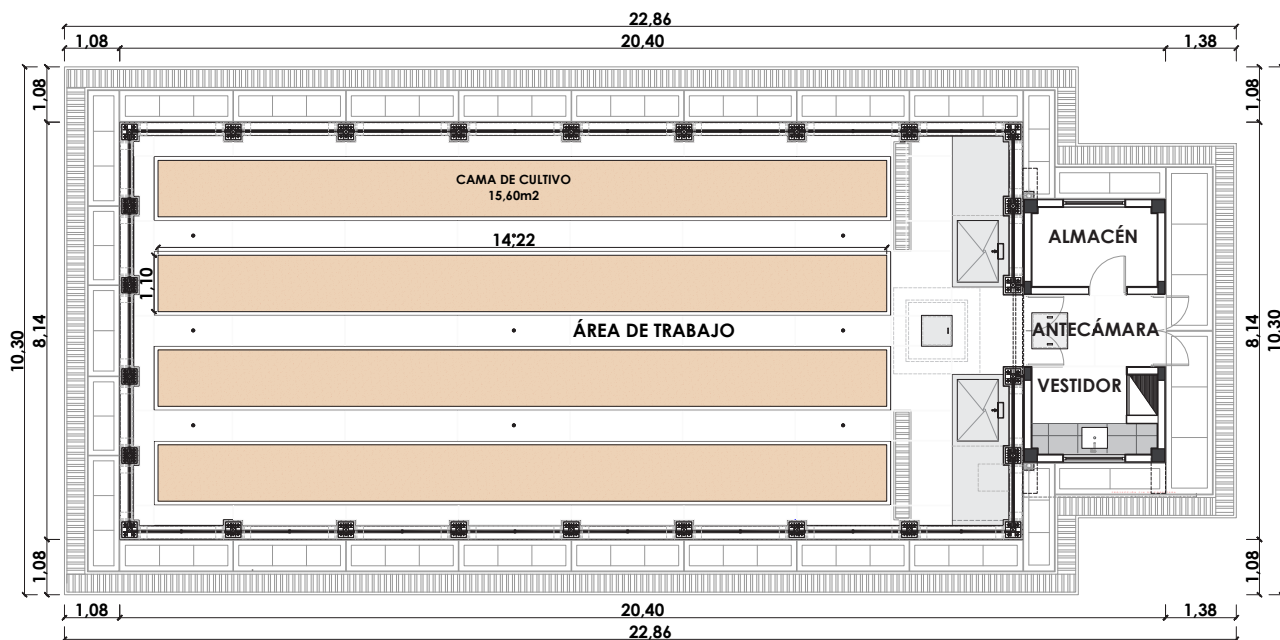
El ambiente ideal para la producción de semilla pre básica de papa es en casas malla o en invernaderos, siendo uno de sus principales beneficios el establecimiento de una barrera entre el cultivo y el exterior, evitando de esta forma sufrir daños por la acción de factores bióticos externos, tales como aves, insectos, hongos, virus entre otros, e incluso factores abióticos tales como lluvias y exceso de luz. A continuación, se describen las principales características con las que debe contar una casa malla:

- **Dimensiones:** se recomienda una estructura de al menos 20 m de largo por 10 m de ancho. En su interior deben disponerse dos ambientes separados mediante una puerta sólida o una malla antiáfida. El primer ambiente o antecámara, es destinado a la desinfección previa, también puede emplearse como área de almacenamiento de insumos y herramientas utilizadas en la producción de semilla prebásica. El segundo ambiente o área de trabajo, tiene un mayor tamaño y se destina al cultivo de plántulas (Figura 22).

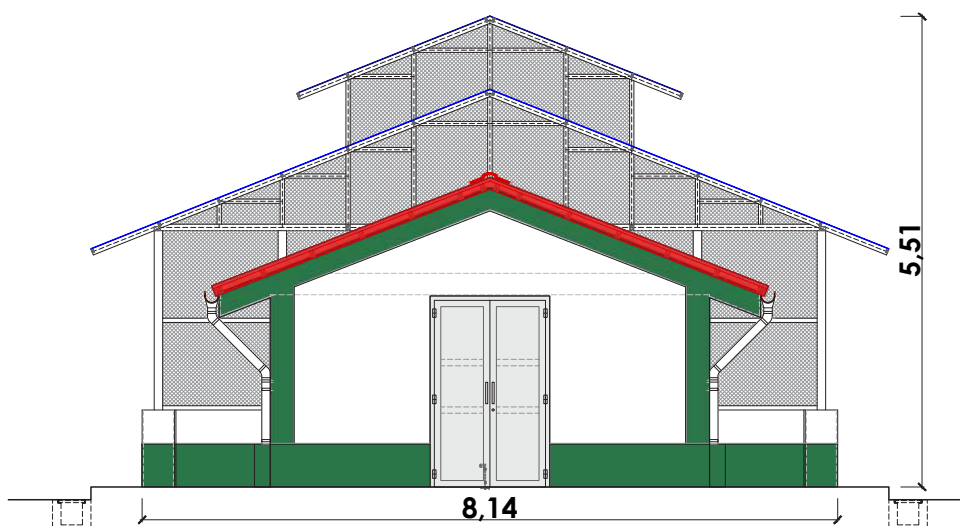
Un ancho de 10 m permite instalar cuatro camas de cultivo, así como pasillos de tránsito interno y un sistema de drenaje externo que evite inundaciones durante la temporada de lluvias. Cada cama puede albergar hasta 1 200 plántulas de papa, alcanzando un total aproximado de 4 800 plántulas y una producción potencial de entre 20 000 y 48 000 tuberculillos dependiendo de la variedad cultivada.

- **Cobertura superior:** la casa malla debe estar equipada con un techo a dos aguas, impermeable y translúcido, que facilite el escurrimiento del agua durante las lluvias y evite filtraciones sobre las plantas de papa. Este diseño, además, favorece la salida del aire caliente mediante la ventilación superior tipo capilla, la cual, por efecto de convección, promueve la circulación del aire dentro de la estructura (Figura 23).
- **Ventilación:** la casa malla debe permitir una adecuada circulación de aire, evitando al mismo tiempo el ingreso de plagas mediante el uso de paneles de malla antiáfidos. Este tipo de malla posibilita el paso del aire, reduce el impacto de las corrientes externas sobre la estructura y favorece el desarrollo de las plántulas en su interior (Figura 24). La cobertura debe presentar un factor de sombra máximo del 20 %, a fin de garantizar una óptima entrada de luz natural.

Una característica clave para asegurar una ventilación eficiente es la altura del techo, que se recomienda superior a 5 m. Esta altura contribuye a evitar el sobrecalentamiento y el estrés térmico de las plantas de papa, especialmente durante las horas de mayor radiación solar al mediodía.



**Figura 22.** Plano en planta del diseño modelo de una casa malla de 230 m<sup>2</sup>, con capacidad para instalar 4 800 plántulas por campaña.  
Fuente: INIA- PROSEM



**Figura 23.** Plano en vista frontal del diseño modelo de una casa malla tipo capilla con ventilación central y de 230 m<sup>2</sup> con capacidad para producir 4 800 plántulas por campaña.  
Fuente: INIA- PROSEM



**Figura 24.** Casa malla tipo capilla para cultivo de semilla pre básica (tuberculillos) de papa en la EEA Canaán en Huamanga, Ayacucho.  
Fuente: PROSEM- EEA Canaán

- **Camas de cultivo:** ubicadas en el ambiente principal de la casa malla, estas ocupan aproximadamente el 80 % del área total. La cantidad y el tamaño de las camas pueden variar, pero deben disponerse a lo largo de la casa malla, para facilitar las labores culturales y aprovechar eficientemente el espacio disponible. En cuanto a sus dimensiones, el largo puede ser variable; sin embargo, el ancho no debe superar los 120 cm, ya que esta medida se relaciona con el alcance promedio del brazo de un trabajador (Figura 25). Superar dicha anchura dificulta el manejo y las operaciones de cultivo.



**Figura 25.** Distribución interna del espacio para camas de producción en la casa malla, el ancho de la cama facilita las labores manuales en el manejo de plántulas de papa.

Fuente: PROSEM- EEA Canaán

## 10.2 Importancia de la limpieza en la casa malla

La limpieza adecuada de esta infraestructura es fundamental para prevenir plagas (áfidos, polillas y minadores foliares), prolongar la vida útil de la estructura y asegurar condiciones óptimas para los cultivos. El retiro de todas las malezas y residuos del suelo es realizado con agua de caño a presión, permitiendo eliminar todas las impurezas que se encuentran en la casa malla.

Para desinfectar la casa malla, se aplica una solución al 4 % de lejía sobre las superficies de paredes, techo y suelo, utilizando preferentemente una mochila fumigadora. Se recomienda programar la desinfección de las áreas durante los fines de semana o en días en los que no haya personal laborando, ya que es necesario ventilar las superficies desinfectadas durante un periodo de 48 a 72 horas.

## 10.3 Recomendaciones de bioseguridad e inocuidad

Debido a los altos estándares de inocuidad requeridos en el cultivo de semilla pre básica de papa en casa malla, es indispensable cumplir con las siguientes recomendaciones (Figura 26A y 26B):

- Vestir un mameluco exclusivo para las labores dentro de la casa malla.
- Desinfectarse las manos con alcohol de 70° y utilizar guantes destinados únicamente al uso en el invernadero.
- Desinfectar el calzado al ingresar a la casa malla, utilizando un pediluvio con agua y cal.
- Emplear un respirador o mascarilla cuando se utilicen productos químicos tóxicos durante la desinfección de los ambientes.



**Figura 26.** Desinfección previa al ingreso de la casa malla con cal para el calzado y alcohol de 70° para las manos (A). Personal técnico con indumentaria de bioseguridad preparándose para el trasplante de plántulas de papa variedad Capiro en casa malla (B). Fuente: PROSEM- EEA Canaán

# 11. Preparación de sustrato

El sustrato a preparar debe reunir propiedades físicas, químicas y biológicas que favorezcan el desarrollo óptimo de las plantas cultivadas bajo condiciones controladas. Estas cualidades garantizan que las raíces crezcan de forma sana, que el agua y los nutrientes estén disponibles de manera equilibrada, y que se mantenga un ambiente radicular aireado y estable. A continuación, se detallan las tres propiedades fundamentales de un sustrato:

## A. Propiedades físicas

Estas determinan la estructura y el comportamiento del sustrato en cuanto a retención de agua, aireación y soporte mecánico. Debe contar con las siguientes características:

- **Buena aireación:** el sustrato debe permitir la entrada de oxígeno y la salida de dióxido de carbono en la zona radicular. Esto evita la asfixia de las raíces y el desarrollo de enfermedades.
- **Adecuada retención de humedad:** debe conservar suficiente agua disponible para las plantas, pero sin llegar a encharcarse o saturarse.
- **Textura ligera y porosa:** facilita el manejo y transporte del sustrato, además de promover un equilibrio entre aire y agua.
- **Estabilidad estructural:** el sustrato no debe compactarse ni degradarse fácilmente con el tiempo o los riegos, para conservar sus propiedades físicas.

## B. Propiedades químicas

Estas se relacionan con la disponibilidad de nutrientes y el equilibrio iónico del medio de cultivo:

- **pH adecuado:** debe situarse generalmente entre 5,5 y 6,8, dependiendo del tipo de cultivo, para garantizar la disponibilidad de nutrientes.
- **Baja salinidad (CE):** un exceso de sales solubles puede afectar la absorción de agua y causar toxicidad. La conductividad eléctrica debe mantenerse en niveles bajos (<1.5 dS/m), especialmente en las fases iniciales.
- **Ausencia de sustancias tóxicas:** no debe contener metales pesados, fitotoxinas ni residuos químicos que afecten el desarrollo de las plantas.

## C. Propiedades biológicas

Estas influyen directamente en la sanidad del cultivo y en la actividad microbiana del entorno radicular:

- **Libre de patógenos, plagas y semillas de malezas:** el sustrato debe estar desinfectado o pasteurizado para prevenir contaminaciones.
- **Actividad microbiana beneficiosa:** puede incluir microorganismos que promueven el crecimiento (como micorrizas o bacterias fijadoras de nitrógeno) que mejoran la nutrición y la resistencia de las plantas.
- **Materia orgánica equilibrada:** proporciona nutrientes, mejora la estructura del sustrato y estimula la actividad biológica.

### 11.1 Componentes de sustrato:

Cada uno de estos componentes confieren diferentes cualidades que todo sustrato debe cumplir, como el soporte estructural para la planta, la correcta distribución de humedad/aireación y el aporte de nutrientes. A continuación, se denotan las propiedades que confieren al sustrato cada uno de los componentes utilizados en su preparación:



- **Tierra negra:** aporta una importante fracción de materia orgánica y minerales esenciales para el desarrollo de las plantas. Su composición rica en nutrientes favorece la fertilidad del sustrato, contribuyendo al crecimiento vigoroso y equilibrado de los cultivos. Asimismo, ayuda en la retención moderada de humedad, manteniendo un ambiente adecuado para la absorción de agua y nutrientes por las raíces.



- **Arena de río:** cumple una función estructural fundamental dentro del sustrato, mejorando la aireación y el drenaje. Su textura permite evitar el encharcamiento y la compactación del medio, facilitando el desarrollo radicular y el intercambio gaseoso. Además, aporta estabilidad mecánica, actuando como soporte físico para las raíces, especialmente en las primeras etapas de crecimiento.



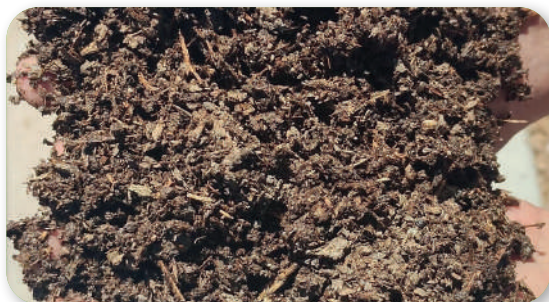
- **Fibra de coco:** destaca por su excelente capacidad de retención de agua y aireación. Su estructura fibrosa permite conservar la humedad por periodos prolongados sin provocar saturación, lo que previene enfermedades radiculares.



- **Sustrato de turba:** es un componente orgánico de alta capacidad de retención de agua y buena porosidad. Aporta una textura esponjosa que mantiene una reserva hídrica constante, favoreciendo la germinación y el crecimiento inicial de las plantas. Su naturaleza ligeramente ácida ayuda también a regular el pH del sustrato, creando un entorno favorable para la absorción de nutrientes.



- **Perlita:** es un mineral expandido que actúa como un agente aireante y drenante. Su estructura porosa ligera mejora la oxigenación del sistema radicular y evita la compactación del sustrato. Al mismo tiempo, contribuye a la distribución homogénea del agua y los nutrientes, reduciendo el riesgo de acumulación excesiva de humedad. Su presencia garantiza un equilibrio adecuado entre retención y drenaje.



- **Compost:** mejora la capacidad de retención de humedad del sustrato sin llegar a saturar, favoreciendo una aireación adecuada para el desarrollo radicular. Además, incrementa la capacidad de intercambio catiónico, lo que facilita la disponibilidad de elementos nutritivos para las plantas.

## 11.2. Preparación de sustrato en base a tierra negra

La preparación adecuada del sustrato de la cama de cultivo, constituye un factor determinante para el éxito en la producción de semilla pre básica de papa, ya que proporciona las condiciones físicas, químicas y biológicas necesarias para el óptimo desarrollo de las plántulas. La proporción óptima recomendada es de 80 % de tierra negra y 20 % de arena fina, formulación que ha demostrado resultados satisfactorios en diversos sistemas de producción.

La tierra negra aporta materia orgánica, nutrientes esenciales y capacidad de retención de humedad, mientras que la arena fina mejora significativamente el drenaje y la aireación del sustrato, previniendo problemas de compactación y encharcamiento que podrían afectar el desarrollo radicular. Para lograr esta mezcla, se realiza una combinación homogénea de estos dos sustratos, asegurando una distribución uniforme de ambos componentes (Figura 27).

El proceso de mezclado debe realizarse de manera cuidadosa, preferiblemente sobre una superficie limpia y desinfectada. Se recomienda tamizar previamente ambos materiales para eliminar piedras, terrones grandes y otros elementos que puedan obstaculizar el crecimiento de las raíces. La calidad final del sustrato impactará directamente en variables como la emergencia, el vigor de las plantas, el desarrollo del sistema radicular y, en consecuencia, en la producción y calidad de los tubérculos semilla obtenidos.



**Figura 27.** Mezcla de tierra negra y arena de río asegurando su distribución uniforme para un mejor drenaje y aireación del sustrato.  
Fuente: PROSEM- EEA Canaán

### 11.3. Preparación en base a sustrato de turba

El sustrato de la cama de cultivo, más adecuado para trabajar en ausencia de tierra negra es la turba rubia, arena fina, compost y/o humus de lombriz, fibra de coco y perlita fina. Este sustrato debe prepararse utilizando proporciones volumétricas, ya que cada uno de los componentes tienen densidades distintas. Se recomienda el uso de baldes de 20 L para facilitar el cálculo de proporciones (Tabla 3).

**Tabla 3.** Proporción volumétrica para la preparación de sustrato alternativo en base a turba rubia

Componente	Proporción volumétrica (%)
Sustrato de turba	70
Arena fina desinfectada	15
Compost cernido y/o humus de lombriz	10
Perlita fina	2,5
Fibra de coco	2,5
<b>Total de sustrato</b>	<b>100</b>

Fuente: PROSEM

Cada componente de este sustrato cuenta con diferentes condiciones para su acondicionamiento:

**A. Turba y la fibra de coco:** se pueden encontrar comercialmente en cantidades específicas según la necesidad del productor, no requieren tratamientos adicionales ni desinfección; solo en el caso de la fibra de coco esta se suele comercializar en bloques compactos (Figura 28) por lo cual debe colocarse en agua para que la fibra se suelte y sea fácil de utilizar. La turba viene compactada en sacos de 200 a 210 L, por ello se deben descomprimir los bloques con maquinaria o de manera manual.

**B. Arena fina:** proveniente de canteras en la cuenca de ríos o de canales de riego, no viene procesada y es necesario realizar una adecuada desinfección. Debido al flujo constante de agua en su lugar de origen, se favorece el lavado del exceso de sales, las cuales son perjudiciales para el cultivo de plántulas de papa. Una vez recolectada la arena, esta debe secarse al aire libre, para ello se puede extender sobre una cobertura de polietileno, de acuerdo a la necesidad, removiendo el sustrato periódicamente con una pala hasta su secado (Figura 29).

Una vez seca la arena, se debe utilizar un tamiz o zaranda para eliminar residuos que se puedan encontrar. Posteriormente la arena debe desinfectarse con el fungicida Carboxin + Thiram a razón de 36 g/L, aplicando 20 L del producto para 400 L de arena a razón. La aplicación química se puede realizar con una mochila fumigadora, aplicando el fungicida sobre la arena, homogeneizando con una pala (Figura 30).



**Figura 28.** Bloques de fibra de coco en su presentación comercial, tal como son distribuidos por el fabricante.  
Fuente: Protekta (2025). Fibra de coco fina.



**Figura 29.** Secado de la arena al aire libre, este proceso sirve para eliminar el exceso de humedad y poder cernir la arena previa a su desinfección con fungicidas.

Fuente: PROSEM- EEA Arequipa



**Figura 30.** Desinfección de la arena utilizando una mochila fumigadora para la aplicación de fungicidas. La arena debe ser mezclada con el uso de una pala para homogeneizar el producto.

Fuente: PROSEM - EEA Arequipa

Una vez listos todos los componentes del sustrato, deben trasladarse a las camas de cultivo y mezclarse homogéneamente con ayuda de palas (Figura 31). Al finalizar, se retira el exceso de material y se almacena en sacos limpios para su posterior uso en el aporque. Luego, se nivela la superficie de las camas de producción a una altura uniforme de 10 a 12 cm de profundidad. En este punto, el terreno quedará prácticamente listo para la siembra de las plántulas provenientes del laboratorio.

Se recomienda aplicar un inóculo de *Trichoderma* spp. al sustrato. Este hongo benéfico previene el desarrollo de hongos fitopatógenos, al degradar la quitina presente en sus paredes celulares. La dosis debe determinarse según las indicaciones del fabricante y el área total del cultivo. En caso de no contar con una recomendación específica, puede prepararse una solución con 1 g de esporas por cada litro de agua y añadir unas gotas de melaza para favorecer la activación del microorganismo. Finalmente, aplicar la solución al sustrato, mezclarlo y mantenerlo en capacidad de campo hasta el momento del trasplante.



**Figura 31.** Mezcla de los componentes del sustrato alternativo preparado a base de turba rubia, arena, fibra de coco, perlita y compost.  
Fuente: PROSEM- EEA Arequipa

## 11.4. Métodos de desinfección del sustrato

Para el cultivo de semillas pre básicas de papa, se requiere la desinfección del sustrato de las camas de cultivo, una fase crítica para la aclimatación y desarrollo de plántulas *in vitro* de papa. Este proceso garantiza la eliminación de patógenos y malezas, creando un ambiente estéril esencial para el establecimiento y crecimiento saludable de las plántulas.

### 11.4.1 Métodos químicos

#### A. Desinfección con ozono

La ozonización es un método eficaz y amigable con el ambiente para la eliminación de patógenos, ya que no genera residuos químicos. El procedimiento consiste en utilizar un generador de ozono y oxígeno acoplado a un convertidor de gas productor de nano burbujas, el cual se conecta a un cilindro con agua (Figura 32). El gas se hace circular durante 15 a 30 minutos dentro del recipiente, hasta alcanzar una concentración de 1 a 3 mg/L de  $O_3$ . Posteriormente, el agua ozonizada se aplica mediante riego uniforme sobre todo el sustrato, procurando humedecerlo sin sobrepasar su capacidad de campo (Figura 33) (Tineo et al. 2025).

Entre los principales beneficios de este método destaca su inocuidad para el personal de campo, además de su eficacia en la eliminación de hongos, bacterias y nematodos, sin requerir el uso de productos químicos como formol o fungicidas.

#### B. Desinfección con peróxido

Empleado en la desinfección de sustratos alternativos preparados a base de turba rubia, arena, fibra de coco y compost. La manera de aplicación es diluyendo 300 mL de Peróxido de Hidrógeno industrial ( $H_2O_2$ ), 130 L/m<sup>3</sup> y  $O_2$  de sustrato instalado en la cama de cultivo, se debe aplicar de manera directa simulando un riego pesado (Figura 34). Se recomienda aplicar este tipo de desinfección por tres días, tanto en la mañana como en la tarde.

El peróxido de hidrógeno industrial es un reactivo económico que debe ser manipulado con precaución, no libera gases, pero el uso de guantes es obligatorio. Este compuesto químico no deja trazas tóxicas en el sustrato, pues al descomponerse la molécula, se libera una molécula de agua y un átomo de oxígeno, el cual se asocia a otro átomo libre de oxígeno formando  $O_2$ , el cual ayudará a la oxigenación del suelo.



**Figura 32.** Ozonificación del agua de riego mediante el uso de un convertor de nano ozono y nano oxígeno, acoplado a un generador de oxígeno y un generador de ozono en el interior de una casa malla.

Fuente: PROSEM- EEA Canaán



**Figura 33.** Desinfección con riego pesado de agua con nano ozono en el sustrato de las camas de cultivo.  
Fuente: PROSEM- EEA Canaán



**Figura 34.** Desinfección de sustrato con Peróxido de Hidrógeno diluido en agua simulando un riego pesado.  
Fuente: PROSEM- EEA Arequipa

### 11.4.2 Método biológico con *Trichoderma* spp.

Este tipo de desinfección biológica puede ser utilizada una vez que se ha preparado el sustrato a utilizar, independientemente de los materiales que lo compongan. Para poder realizarla de manera adecuada, se debe humedecer el sustrato con agua de riego para favorecer la proliferación de los microorganismos benéficos.

Se prepara el *Trichoderma* a razón de 120 g por cada 20 L de agua, posteriormente se agrega gradualmente con una mochila fumigadora o un balde, mientras se va mezclando el sustrato para una distribución homogénea. El sustrato debe cubrirse hasta el día siguiente para que se activen los microorganismos (Figura 35).



**Figura 35.** Mezcla de sustrato mientras se aplica una solución de *Trichoderma* spp. diluida en agua.

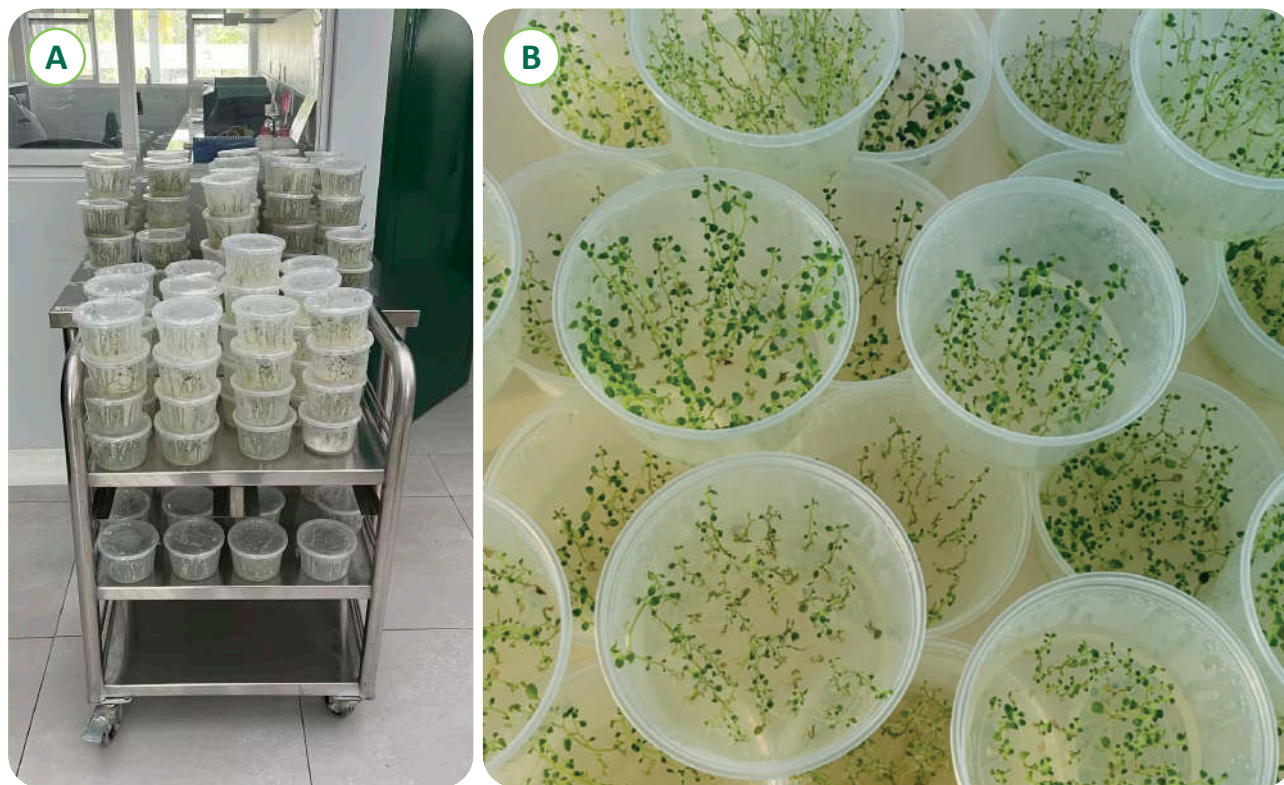
Fuente: PROSEM- EEA Andenes

## 12. Aclimatación y trasplante

### 12.1 Aclimatación de plántulas

La aclimatación de plántulas de papa es un proceso que exige cuidado y precisión para asegurar la calidad de la semilla pre básica. Esta etapa es una de las más críticas en la producción de semilla certificada, pues define el vigor, la sanidad y el rendimiento de las futuras generaciones del material de siembra.

Para tal fin, se deben utilizar plántulas extraídas del área de crecimiento en el laboratorio (Figura 36A); antes del trasplante, las plántulas deben haber completado su aclimatación y presentar un sistema radicular bien desarrollado, tallos vigorosos y una altura de 8 a 12 cm (Figura 36B). Durante la manipulación debe evitarse el daño mecánico en raíces y tallos, utilizando herramientas esterilizadas y manos desinfectadas para prevenir contaminaciones.



**Figura 36.** Recipientes de plástico con plántulas recién extraídas del área de crecimiento (A) y plántulas listas para iniciar su proceso de aclimatación previo al trasplante (B).

Fuente: PROSEM- EEA Canaán

## 12.2 Aclimatación utilizando bandejas para almácigo

Para aplicar esta metodología se utilizan bandejas de polietileno para almácigo que cuentan con 72 celdas (45 cm<sup>3</sup>), las cuales deben llenarse con un sustrato libre de patógenos (hongos y bacterias) que puedan afectar a las plántulas *in vitro*. El sustrato recomendado está compuesto por sustrato de turba de granulometría fina (0–7 mm) suplementada con NPK (nitrógeno, fósforo y potasio). La metodología de aclimatación con bandejas de almácigo consiste en:

- Preparar la mezcla del sustrato para las bandejas de almácigo, compuestas por 50% de musgo o turba y 50% de tierra negra cernida.
- Llenar las bandejas de almácigo con el sustrato preparado.
- Humedecer el sustrato con agua potable hasta alcanzar la capacidad de campo, es decir, hasta que escurra agua por la base de las bandejas.
- Extraer las plántulas del agar o el medio del cultivo y sumergir en una solución fungicida para prevenir la proliferación de patógenos durante la aclimatación, recomendándole el uso de Carboxin + Thiram a una dosis de 1,8 g/L.
- Las plántulas se colocan en el sustrato de las bandejas de germinación, procurando no compactar ni dañar las raíces (Figura 37).
- Las bandejas de almácigo deben colocarse sobre una superficie limpia y cubrirse con un cobertor transparente que ayude a conservar la humedad, creando un microambiente favorable para el desarrollo y enraizamiento de las plántulas. La cobertura no debe entrar en contacto con las plantas; debe mantenerse a una altura aproximada de 20 a 30 cm sobre ellas.

Al utilizar estas bandejas, las plántulas requieren de 15 días para alcanzar el vigor necesario para ser trasplantadas a las camas de producción, durante este periodo deberán ser fertilizadas el primer y séptimo día de haber sido sub cultivadas en las bandejas.



**Figura 37.** Trasplante de plántulas *in vitro* provenientes del laboratorio a bandejas de almácigo con sustrato de turba rubia, para su posterior aclimatación.

Fuente: PROSEM- EEA Arequipa

## 12.3 Trasplante de plántulas

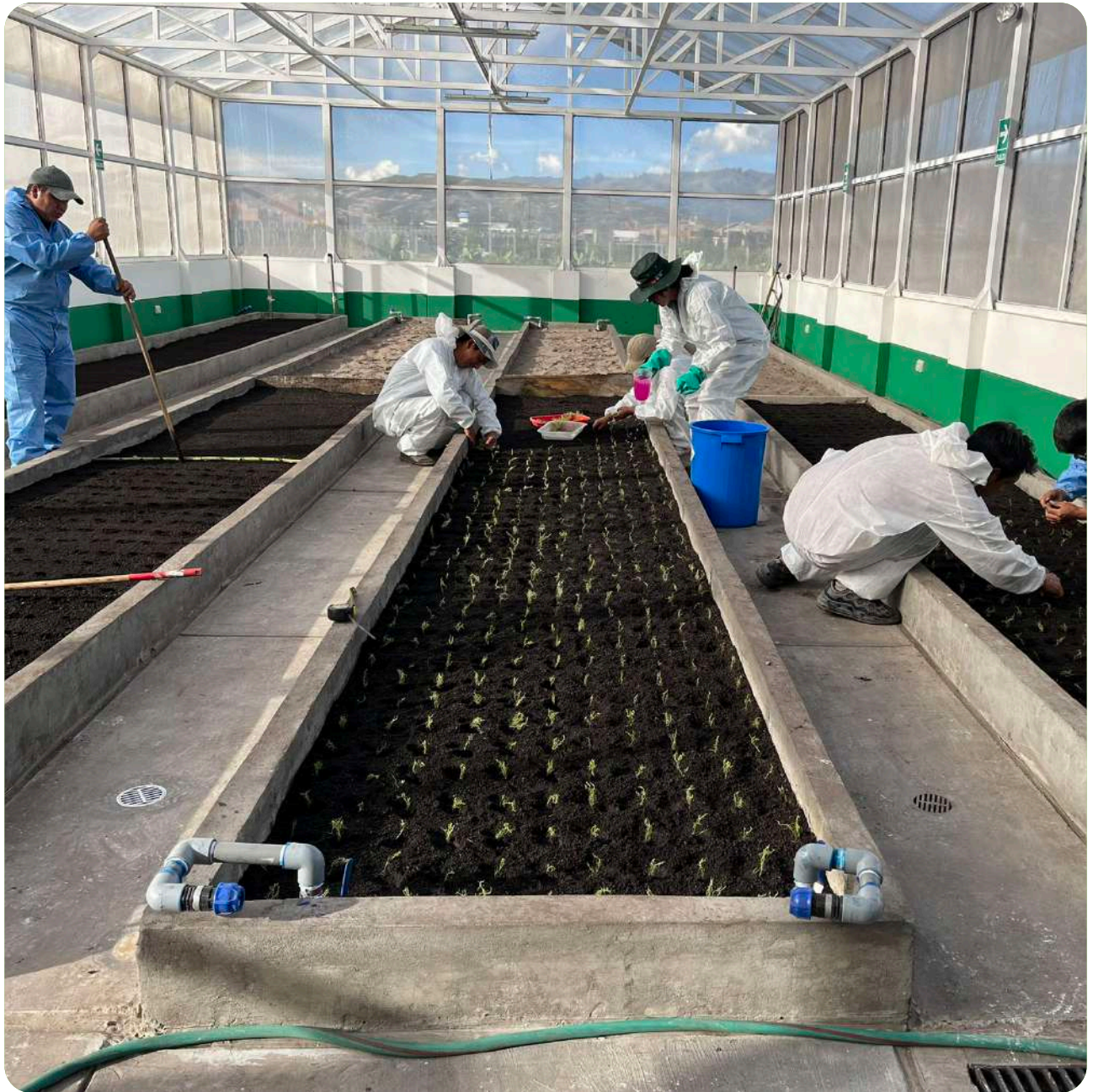
El trasplante se realiza manualmente, con un distanciamiento de 15 cm entre plantas y 10 cm entre surcos (Figura 38 y 39). Los hoyos deben tener una profundidad de 5 a 8 cm, dependiendo de la variedad de papa, ya que algunas requieren mayor espacio para la tuberización. Por ejemplo, en la variedad Yungay, debido a su alta capacidad de formación de tubérculos, se recomienda una profundidad aproximada de 7 a 8 cm.

Esta medida proporciona un volumen de sustrato adecuado y evita la exposición de estolones y tubérculos a la luz, lo que previene el enverdecimiento. En variedades con menor tendencia a la tuberización superficial, como INIA 303 - Canchán, puede emplearse una menor profundidad (5 a 6 cm). El trasplante debe realizarse de modo que el cuello de la planta quede al nivel del sustrato, ya que una siembra demasiado superficial favorece la desecación, mientras que una excesivamente profunda incrementa el riesgo de podredumbres en la base del tallo.



**Figura 38.** Realización de orificios de trasplante con distanciamientos de 15 cm entre plantas y 10 cm entre surcos.

Fuente. PROSEM- EEA Canaán



**Figura 39.** Trasplante de las plántulas de papa variedad Yungay con distanciamientos de 15 cm entre plantas y 10 cm entre surcos.  
Fuente. PROSEM- EEA Canaán

### 12.3.1 Trasplante por siembra directa

Las plántulas cultivadas *in vitro* que no hayan pasado por el proceso de almácigo deben sumergirse previamente en agua destilada durante siete días, con el fin de facilitar su extracción del medio de cultivo sin dañar las raíces y permitir una adaptación gradual a las condiciones externas al laboratorio. Posteriormente, se procede al trasplante (Figura 40A), siguiendo lo descrito en la sección 12.3. Dado que estas plantas presentan un sistema radicular menos desarrollado, es fundamental mantener el sustrato adecuadamente hidratado durante los días posteriores al trasplante. El riego puede realizarse con una solución fungicida preventiva elaborada con agua y Carboxin + Thiram a una dosis de 1,8 g/L (Figura 40B).



**Figura 40.** Trasplante por siembra directa a partir de plántulas *in vitro* de papa (A) y riego de plántulas recién trasplantadas con una solución de agua y Carboxin + Thiram a una dosis de 1,8 g/L (B).

Fuente: PROSEM- EEA Canaán

### 12.3.2 Trasplante a partir de almácigos

Cada plantín debe retirarse cuidadosamente de la bandeja de almácigo, evitando romper el bloque de sustrato que sostiene el sistema radicular de la planta (Figura 41A). El bloque de sustrato se coloca directamente en los orificios de la cama de cultivo para proteger las raíces y evitar daños que puedan provocar la muerte de la planta en los primeros días posteriores a la siembra. Una vez colocados los bloques en los orificios preparados en la cama de cultivo, se añade sustrato alrededor del plantín y se presiona suavemente con las palmas de las manos, procurando no compactar el sustrato (Figura 41B).



**Figura 41.** Extracción de plantines de las bandejas de almácigo evitando el daño de raíces (A) y trasplante de plantines en la cama de cultivo con un distanciamiento de 15 x 15 cm entre sí (B).

Fuente: PROSEM- EEA Arequipa

## 13. Manejo de Riego

El sistema de riego más recomendable para casas malla es el de goteo, ya que permite optimizar el uso de agua y reducir el consumo energético gracias a su bajo requerimiento de presión, entre 0,5 y 2 bares. Este sistema está compuesto por los siguientes elementos:

- **Bomba:** es el equipo impulsor del sistema, se recomienda utilizar una bomba eléctrica de 1,5 a 2 HP para irrigar cuatro camas de cultivo de entre 13 y 15 m de largo por 1 m de ancho (Figura 42A).
- **Reservorio:** se sugiere un tanque o depósito con capacidad mínima de 2 m<sup>3</sup>, suficiente para abastecer el riego por goteo de las cuatro camas de cultivo.
- **Arco de riego:** hecho a base de PVC (policloruro de vinilo), se recomienda que sea de 0,5 a 1 pulgadas, y que tenga en su circuito, una bomba de aire, para depurar el exceso de aire en el sistema, manómetros de entrada y salida para poder visualizar la presión de riego del sistema, filtro de anillos para contener contaminantes o sedimentos del agua de riego o fertirriego (Figura 42B).
- **Sistema de conducción:** el sistema de riego por goteo utiliza cintas de goteo de 0,5 a 1 pulgadas de diámetro, estas están equipadas con goteros a un distanciamiento de 20 cm y con un caudal de 2 L/h. Se sugiere el uso de goteros de bajo caudal con la finalidad de realizar un riego ligero, evitando que se encharque la superficie de las camas y que pueda generar el movimiento de las plántulas, sobre todo cuando recién se han trasplantado (Figura 43).
- **Equipo de Fertirriego:** para el fertirriego, se emplea un Venturi, el cual es un acople que se instala a la tubería principal, antes de la distribución de las cintas de riego en las camas. El acople toma la solución nutritiva desde la base de un contenedor y se regula manualmente, para poder dosificar la solución nutritiva durante los riegos ejecutados.
- **Programador de riego:** permite automatizar el tiempo de riego y el número de riegos a realizar durante la semana. Esta dosificación se debe de calibrar en función del tipo de sustrato, a mayor retención de agua, se requiere un menor tiempo de riego y una menor frecuencia de riego. Si el sustrato por el contrario retiene una menor cantidad de agua y tiene un mayor drenaje, se requerirá regar con mayor frecuencia.



**Figura 42.** Arco de riego compuesto de bomba hidráulica 2 HP (A), reservorio soterrado, bomba de aire, manómetro, filtro de anillos y venturi para fertirrigación (B).

Fuente: PROSEM- EEA Canaán y Arequipa



**Figura 43.** Goteros con caudal de 1,5 l/h conectados a manguera HDPE de ½ pulgada, para riego por goteo y fertirriego  
Fuente: PROSEM- EEA Canaán

## 13.1 Frecuencia y tiempo de riego

Se realiza en función de las condiciones ambientales, no obstante, es posible estandarizar la programación con tres riegos por semana, observando que el sustrato se encuentre a capacidad de campo posterior al riego. En el caso de contar con los equipos para aplicar nano oxígeno, se puede aplicar vía sistema de riego a través de las cintas de goteo 4 L/h, ya que el nano oxígeno permite oxigenar el sustrato para generar un adecuado desarrollo radicular para una eficiente absorción de nutrientes y con ello lograr una mejor tuberización.

Durante los primeros 25 días de crecimiento, los goteros (caudal de 2 L/h) deben operar con una dosificación de riego baja entre 8 a 10 minutos por riego, suficiente para mantener la humedad en la zona radicular sin provocar encharcamientos que puedan dañar las raíces jóvenes. Posterior a ello, cuando las plántulas presentan un desarrollo significativo (alrededor de 10 cm de altura), se debe incrementar gradualmente el tiempo de riego hasta un máximo aproximado, en función de la temperatura de la casa malla de hasta 15 a 20 minutos (Figura 44).

Este ajuste en la dosificación de riego busca favorecer el desarrollo radicular en profundidad y mantener una humedad adecuada en las capas inferiores del sustrato, en respuesta a la mayor demanda hídrica de las plántulas en crecimiento. La regulación del riego debe realizarse de forma progresiva para evitar el estrés hídrico, monitoreando constantemente la respuesta de las plantas y asegurando un drenaje eficiente que prevenga el encharcamiento.

## 13.2 Calidad de agua

El pH del agua constituye un factor determinante para el desarrollo óptimo de las plántulas *in vitro*. En las variedades INIA 303 - Canchán y Yungay, el rango adecuado se encuentra entre 5,8 y 7,0. Valores superiores pueden afectar la disponibilidad de nutrientes y el equilibrio iónico del medio de cultivo; por ello, cuando el pH excede este intervalo, se recomienda ajustarlo mediante acidificantes comerciales hasta alcanzar el nivel óptimo para el crecimiento de las plantas.



**Figura 44.** Plantines de papa variedad Yungay con sustrato debidamente irrigado con sistema de riego por goteo en Huamanga, Ayacucho.  
Fuente: PROSEM- EEA Canaán

## 14. Fertilización

La aplicación de macro y micronutrientes solubles, se realiza por medio del riego por goteo. Los nutrientes se aplican dependiendo de las necesidades básicas y de acuerdo con el estado fenológico de las plántulas. Para ello se pueden emplear los siguientes productos solubles:

- Nitrato de amonio (\*)
- Nitrato de potasio
- Fosfato monoamónico (\*)
- Fosfato monopotásico
- Sulfato de magnesio
- Sulfato de manganeso (\*\*)
- Sulfato de zinc (\*\*)
- Sulfato de calcio (\*\*)
- Sulfato de cobre (\*\*)
- Molibdato de amonio (\*\*)
- Ácido bórico (\*\*)
- Quelatos de micronutrientes (Fe-EDDHA, Zn-EDTA.) (\*\*)

(\*) Fertilizantes solubles nitrogenados, pueden emplearse cualquiera de los dos en función de la disponibilidad en el mercado.

(\*\*) Micronutrientes.

Para una dosificación precisa, se sugiere realizar un análisis de fertilidad del sustrato empleado, ya que el insumo tierra puede variar mucho en su fertilidad.

## 14.1 Fertilización de base

Se emplea superfosfato triple (46 %  $P_2O_5$ ) como fuente principal de fósforo durante la etapa de fertilización previa a la instalación de las plántulas. Este fertilizante fosfatado se caracteriza por su alta concentración de fósforo disponible, lo que favorece un rápido aprovechamiento del nutriente en el suelo (Porrás y Herrera, 2015).

La aplicación antes del trasplante resulta fundamental, ya que el fósforo desempeña un papel clave en las primeras fases de crecimiento de las plantas, promoviendo el desarrollo de un sistema radicular vigoroso y profundo, indispensable para la adecuada absorción de agua y nutrientes. Las raíces debidamente establecidas permiten un mejor anclaje de la planta, lo que repercute directamente en su crecimiento vegetativo y en una mejor formación de tuberculillos (Montesdeoca, 2005).

La dosis recomendada es de 30 g de superfosfato triple por cada 1 m<sup>2</sup> de área cultivable, incorporándose uniformemente en el suelo antes de la siembra o trasplante, mediante una ligera labor de mezclado para optimizar su aprovechamiento por las raíces jóvenes.

## 14.2 Fertilización de crecimiento y desarrollo

La fertilización de las plantas es fundamental durante todo su ciclo de desarrollo, desde las semanas iniciales de aclimatación hasta las semanas previas a la cosecha. Esta fertilización varía según el estadio en el que se encuentra nuestra planta, los productos agroquímicos utilizados van variando en concentración según la semana de cultivo.

La fertilización de las plantas está dividida en tres etapas, la primera se realiza durante la aclimatación en bandejas de germinación, la segunda durante las dos primeras semanas instaladas en la cama de cultivo y la tercera durante el resto de su desarrollo hasta la cosecha (Tabla 4).

- **Etapas I:** durante estas dos semanas de aclimatación en almácigo, las plántulas de papa serán fertilizadas el primer y séptimo día de haber sido trasplantadas a las bandejas de germinación. Para lo cual se preparará una solución hidropónica según indicaciones del fabricante, con una relación 1:3, es decir si se prepara 1 L de solución, agregar agua hasta completar los 3 L, adicionalmente añadir 1 mL de enraizante por cada litro de solución.



Esta solución debe prepararse en el momento de ser utilizada, no es recomendable almacenarla; se debe hacer el cálculo necesario según cuantas plántulas vamos a fertilizar, ya que se utiliza un total de 20 mL por cada plántula (Figura 45). Las bandejas de germinación cuentan con 72 celdas cada una, para lo cual se utilizan aproximadamente 1,5 L de solución por cada bandeja.



- **Etapla II:** una vez que las plantas se encuentren instaladas en la cama de cultivo, se debe mantener la fertilización con la solución hidropónica diluida 1:3 agregando 1 mL/L de enraizador y 1,5 mL/L de crema de algas *Ascophyllum nodosum*, pero esta vez a razón de 100 mL por planta, esta puede ser aplicada directamente por fertirriego si ya se cuenta con el sistema instalado, o con la ayuda de envases, aplicando la solución en forma de aro alrededor del tallo, procurando no mojar directamente la planta.
- **Etapla III:** esta es la fertilización que acompañará al cultivo durante las siguientes 12 semanas de desarrollo y puede ser aplicada utilizando una mochila fumigadora la cual se acopla al sistema de riego por goteo, bombeando la solución fertilizante lentamente durante el riego de las plantas. A continuación, se muestra un programa de fertilización por metro cuadrado y para 16 semanas (incluyendo aclimatación).



**Figura 45.** Aplicación de 20 mL de solución hidropónica diluida en una relación 1:3 suplementada con enraizador a razón de 1 mL/L a cada una de las celdas en las bandejas de almáximo durante su aclimatación.

Fuente: PROSEM- EEA Arequipa

**Tabla 4:** Plan de fertilización semanal recomendada para siembra indirecta.  
Los gramajes están calculados en base a 1 metro cuadrado de área cultivable

Etapa	Fenología	Días de siembra	Número de semana	Nitrato de Amonio (g)	Ácido Fosfórico (g)	Sulfato de Potasio (g)	Nitrato de Calcio (g)	Sulfato de Magnesio (g)	
Aclimatación en bandeja	Enraizamiento	1 - 15 días	1 y 2	0	0	0	0	0	
			3 y 4	0	0	0	0	0	
Desarrollo en camas	Crecimiento vegetativo	30 - 45 días	5	2,5	2,5	3,75	0	0	
			6	2,5	2,5	3,75	0	1,75	
			7	5	3,75	5	0,6	2,5	
			8	5	7,5	6,25	0,8	4,4	
			9	7,5	7,5	7,5	2,5	4,4	
			10	7,5	7,5	10	2,5	5	
	Floración	45 - 60 días	11	7,5	3,75	7,5	1,75	5	
			12	7,5	3,75	7,5	0,5	2,5	
	Tuberización	60 - 90 días	13	10	1,75	4,25	0	2,5	
			14	5	1,75	0	0	0	
	Maduración	90 - 100 días	15	5	0	0	0	0	
			16	1,2	0	0	0	0	
	Total requerido en toda la etapa fenológica				66,2	42,25	55,5	8,65	28,05

**Nota:** Durante las 4 primeras semanas la fertilización se realiza únicamente con solución hidropónica diluida, enraizante y crema de algas como se describe en el punto 14.2- Etapa I.

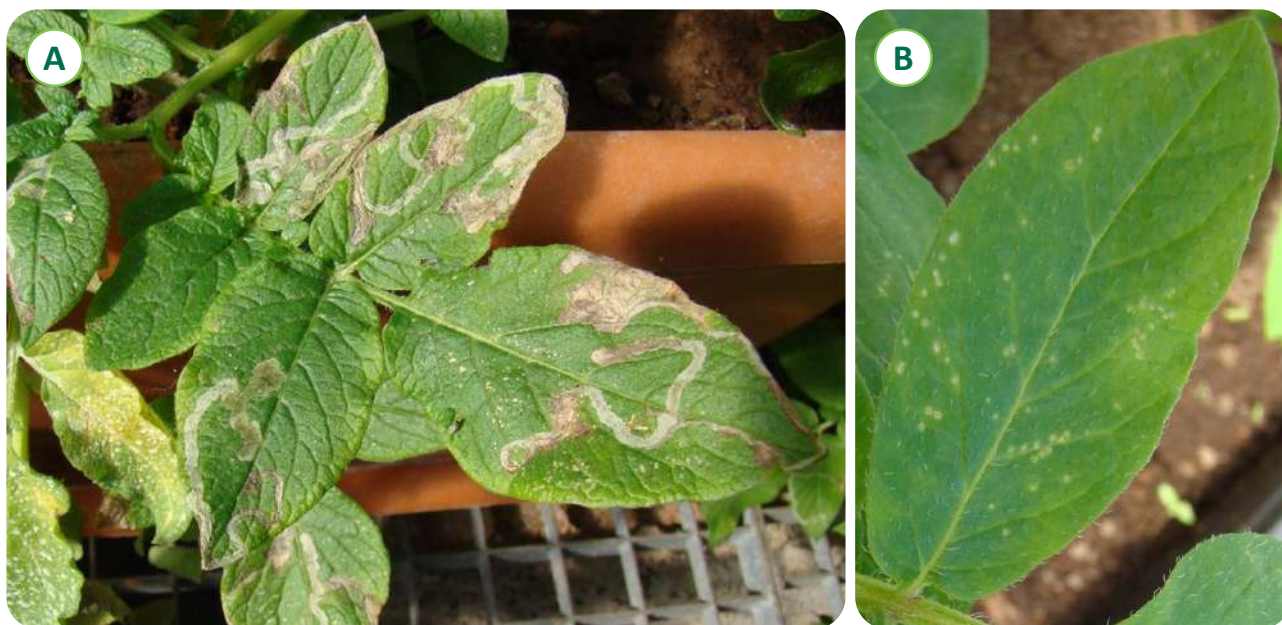
## 15. Manejo agronómico

### 15.1. Manejo sanitario de plagas y enfermedades

Si bien las condiciones propias del trabajo en casa malla reducen significativamente la proliferación de plagas y enfermedades, es sumamente importante la realización de evaluaciones constantes al menos una o dos veces por semana, especialmente durante etapas críticas como brotación y floración. A continuación describimos las principales plagas y enfermedades que toman lugar en la casa malla:

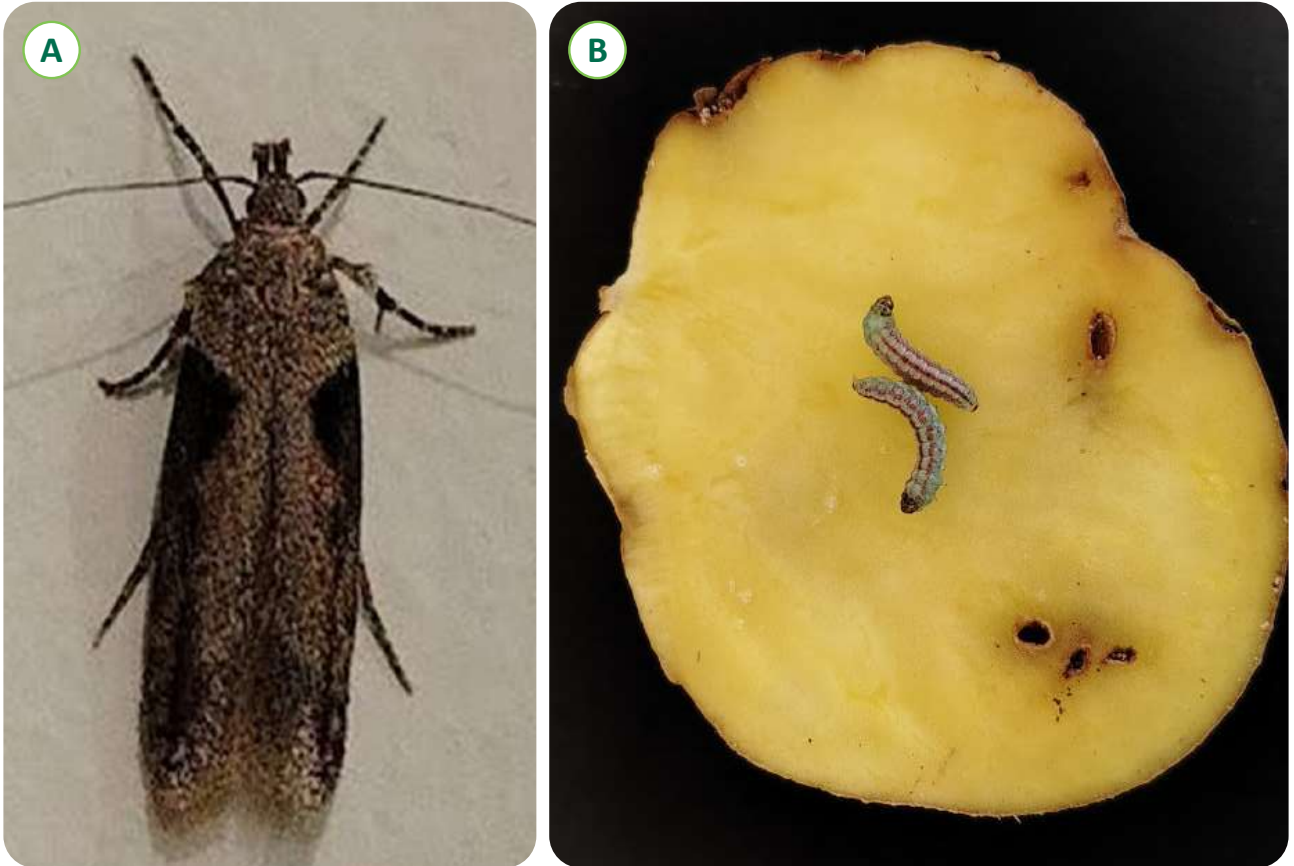
#### 15.1.1. Principales insectos plaga en casa malla

**A. Mosca minadora (*Liriomyza huidobrensis* o *Phytoliriomyza papae*):** El daño es causado fundamentalmente en estado larval, al alimentarse del mesófilo foliar (Figura 46A), creando galerías en el interior de las hojas. Esto reduce el área foliar fotosintéticamente activa y, consecuentemente, disminuye la producción de tubérculos (Figura 46B). Adicionalmente, puede generar necrosis del tejido foliar y susceptibilidad a infecciones secundarias (Cahuana-Quispe et al., 2020).



**Figura 46.** Huevecillos previo a la eclosión de las larvas dentro del mesófilo de las hojas (A) y minaduras en las hojas de papa (B). Fuente: GOIA (2018).

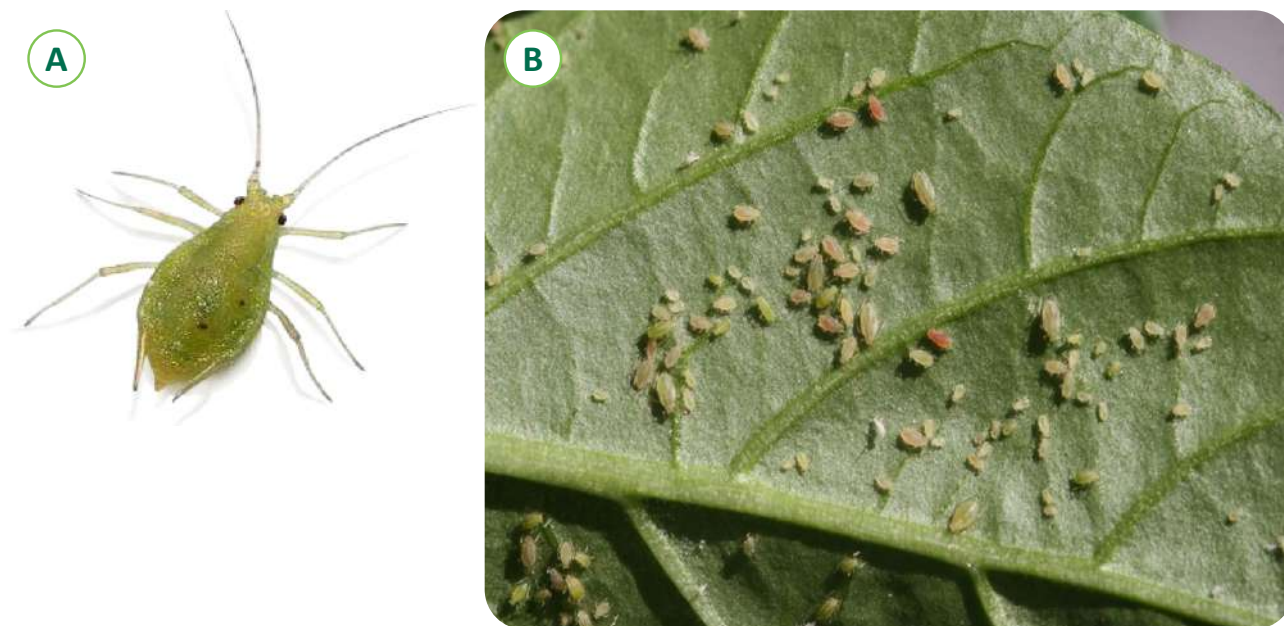
**B. Polilla de la papa (*Phthorimaea operculella* y *Symmetrischema* sp.):** Ocasiona daños directos al alimentarse de la savia y actúa como vector de virus (Figuras 47A y 47B). Además, sus excretas azucaradas favorecen el desarrollo de hongos foliares como el tizón tardío (*Phytophthora infestans*).



**Figura 47.** Adulto de *Symmetrischema* sp. (A) y larvas que barren los tuberculillos de papa (B) en casa malla.

Fuente: PROSEM- EEA Santa Ana

**C. Áfidos (*Myzus persicae*):** Causan daños directos al cultivo de papa al alimentarse de la savia elaborada, debilitando las plantas, y daños indirectos por su importante papel como vectores de virus (Figura 48A y 48B). Asimismo, las excretas azucaradas (melaza) que producen favorecen la proliferación de hongos del follaje, como la “ranchara”, afectando la sanidad y el desarrollo del cultivo.



**Figura 48.** Adulto de *Myzus persicae* (A) e infestación en envés de hoja de papa (B) en casa malla.  
Fuente: Deiss (2025) y Cahuana-Quispe et al. (2020)

Para el control de los insectos plaga descritos anteriormente, se recomienda los siguientes productos y estrategias para el manejo de plagas:

**Lufenuron:** Insecticida cuyo mecanismo de acción inhibe la síntesis de quitina, componente esencial para el exoesqueleto de los insectos, resultando altamente eficaz para detener el desarrollo larvario. Recomendado para el manejo de la “polilla de la papa” (*Phthorimaea operculella* y *Symmetrischema* sp.)

**Fenitrotión:** Insecticida organofosforado de amplio espectro que inhibe la enzima colinesterasa, afectando el sistema nervioso de los insectos y alterando sus funciones fisiológicas hasta causar la muerte. Recomendado para alternar el ingrediente activo para el control de la “polilla de la papa”, áfidos (*Myzus persicae*) y “mosca minadora” (*Liriomyza huidobrensis* o *Phytoliriomyza papae*).

**Cipermetrina:** Insecticida piretroide sintético, actúa por contacto e ingestión, afectando el sistema nervioso central de los insectos. Recomendado para alternar el uso del ingrediente activo en “polilla de la papa”, áfidos y “mosca minadora”.

**Trampas cromáticas amarillas:** Atrayentes compuestos por una superficie de polietileno untadas con líquidos pegajosos como aceite sintético o melaza, las cuales permiten capturar individuos adultos y evaluar la densidad poblacional de la “polilla de la papa”, áfidos y “mosca minadora” (De la Riva Aragón, 2013) (Figura 49).

**Feromonas de *Phthorimaea operculella* y *Symmetrischema* sp:** De uso específico para la “polilla de papa”, funcionan atrayendo a adultos machos hacia trampas de melaza o trampas de agua con detergente, en donde los insectos mueren por ahogamiento (Figura 50).



**Figura 49.** Monitoreo de adultos capturados de “polilla de la papa”, áfidos y “mosca minadora” en trampas cromáticas y trampas con feromonas.

Fuente: PROSEM- EEA Canaán



**Figura 50.** Control de la “polilla de la papa” mediante el uso de trampas de agua con detergente empleando feromonas sexuales para captura de machos.

Fuente: PROSEM- EEA Canaán

## 15.1.2. Principales enfermedades en casa malla

**A. Ranca (*Phytophthora infestans*):** es una enfermedad fungosa que afecta principalmente las hojas, tallos y tubérculos de la papa (Figura 51). En el follaje, se manifiesta mediante manchas de color marrón claro a oscuro, de apariencia húmeda e irregular, frecuentemente rodeadas por un halo amarillento no limitado por las nervaduras. En el envés de las hojas afectadas puede observarse una pelusilla blancuecina, correspondiente a las estructuras del patógeno (Cahuana-Quispe et al., 2020; INIA, 2013).

En tallos y pecíolos, la infección produce lesiones necróticas alargadas de color marrón a negro, generalmente ubicadas desde el tercio medio hacia la parte superior de la planta; estas zonas adquieren una consistencia vítrea, frágil y quebradiza. A medida que la enfermedad avanza, las hojas se necrosan completamente, provocando su marchitez y muerte. En los tubérculos, la ranca genera lesiones superficiales ligeramente hundidas de color marrón claro a oscuro; al realizar un corte transversal, se aprecian áreas necróticas internas del mismo tono, indicativas de la penetración del hongo en el tejido (INIA, 2013).



**Figura 51.** Daño necrótico en follaje por ranca (*Phytophthora infestans*) de papa en casa malla.  
Fuente: PROSEM- EEA Santa Ana y Cahuana-Quispe et al., 2020

**B. *Alternaria (Alternaria solani)*:** Enfermedad fungosa también llamada “Tizón temprano”, tiene como principales síntomas las manchas oscuras en las hojas, desecación del follaje y reducción del rendimiento en la tuberización (Figura 52).



**Figura 52.** Necrosis aislada en el follaje de papa producto de *Alternaria (Alternaria solani)*.  
Fuente: Cahuana-Quispe et al., 2020

**C. *Rhizoctonia (Rhizoctonia solani)*:** En la superficie de los tubérculos se observan costras negras, semejantes a pequeños grumos duros y oscuros (Figura 53). En infestaciones severas, los tubérculos se deforman y los ojos quedan cubiertos, reduciendo su calidad y valor comercial. En estolones, brotes y tallos se desarrollan lesiones necróticas que afectan la formación de tubérculos (Figura 54), dificultan la emergencia de las plantas e interfieren tanto en la absorción y transporte de agua y nutrientes desde el suelo como en la translocación de fotosintatos hacia los órganos de reserva. Como consecuencia, pueden formarse tubérculos aéreos en el tallo (Cahuana-Quispe et al., 2020).



**Figura 53.** Pudrición en tubérculos de papa producto de *Rizhoctonia (Rhizoctonia solani)*.  
Fuente: Cahuana-Quispe et al. (2020) y PROSEM- EEA Santa Ana



**Figura 54.** Pudrición en estolones de papa producto de Rizhoctonia (*Rhizoctonia solani*).

Fuente: PROSEM- EEA Arequipa

**D. *Pythium* spp:** Este patógeno causa daño principalmente postrasplante de plántulas de papa en casa malla, provocando pudrición en la base de los tallos tiernos. La podredumbre en el cuello de las plántulas genera desecamiento de la zona afectada y, posteriormente, el tumbado de la plántula hasta su completa desecación (Agrios, 2005).

Para el control de las enfermedades descritas anteriormente, se recomienda lo siguiente:

- **Carboxin y Thiram:** Fungicida derivado de la oxatrina el primero y del grupo de los ditiocarbamatos en el caso del Thiram. Tiene acción dual, tanto de contacto como sistémico, es empleado de forma preventiva contra *Rizoctoniasis* y *Pythium* spp., se inicia siete días después del trasplante, aplicando dosis de 36 g por 20 L de agua.
- **Cymoxanil y Propineb:** Es una fórmula de acción dual, tanto de contacto como de tipo sistémico, en el caso del Cymoxanil es sistémico local o translaminar, del grupo químico de Cianoacetamida-oxima, actúa inhibiendo la síntesis del ADN y bloqueando el desarrollo del micelio dentro del tejido vegetal. En el caso del Propineb, es un fungicida de contacto del grupo de los ditiocarbamatos, impide la germinación de esporas y el crecimiento del micelio sobre la superficie de las hojas. recomendado para el manejo de “Rancha” y Alternaria

- **Mancozeb y Metalaxyl:** Es una fórmula de acción dual, en el caso del Mancozeb, es un producto de contacto del grupo de los Ditiocarbamatos, que actúa interfiriendo múltiples procesos enzimáticos del hongo, afectando su respiración y metabolismo. En el caso del Metalaxyl del grupo de las Acilalanina, sistémico e inhibe la síntesis de ARN y el crecimiento del micelio. Esta fórmula se recomienda para el manejo de “Ranchar” y *Pythium* spp.
- **Propamocarb y Fosetyl:** Es un fungicida de doble acción sistémica (xilema y floema), en el caso del Propamocarb, forma parte del grupo de los Carbamato (FRAC 28), inhibiendo la síntesis de lípidos y la formación de membranas celulares del hongo. Para el caso del Fosetyl-Al, es un fungicida del grupo de los fosfonatos (FRAC 33), que induce defensas naturales en la planta e inhibe el crecimiento del micelio del patógeno. Esta molécula es recomendada para el control temprano de *Phytophthora infestans* y *Pythium*.

Se recomienda no ingresar a la casa malla al menos durante las 24 horas posteriores a la aplicación para garantizar la seguridad. Adicionalmente, es imprescindible usar los equipos de bioseguridad adecuados, como mascarilla o careta facial, mameluco, guantes y gafas, para prevenir intoxicaciones durante la fumigación, la cual debe realizarse con mochila fumigadora. (Figura 55)



**Figura 55.** Aplicación de productos químicos en papa Yungay, bajo condiciones de casa malla  
Fuente: PROSEM- EEA Arequipa

## 15.2. Control de malezas y poda sanitaria

El retiro de las malezas se realiza en las primeras etapas del cultivo cuando la papa es más susceptible. Es importante extraer las malezas de raíz para evitar rebrotes (Figura 56). En la poda sanitaria se realiza la eliminación de las hojas basales amarillentas y remoción de plantas con síntomas de enfermedad (Figura 57) para mantener las plantas saludables, eliminar focos infecciosos y promover un buen crecimiento.



**Figura 56.** Deshierbe manual de las malezas que se desarrollan entre las plantas de papa variedad Yungay en casa malla.  
Fuente: PROSEM- EEA Canaán



**Figura 57.** Remoción de plantas con síntomas de enfermedad de la papa variedad Yungay en casa malla.  
Fuente: PROSEM- EEA Canaán

### 15.3. Aplicaciones foliares

La fertilización foliar es clave en viveros para corregir deficiencias y potenciar el desarrollo de plántulas (Figura 58). El proceso comienza con un diagnóstico visual para identificar carencias como amarillamiento por Fe, S, Mn o necrosis por Ca, B. Las aplicaciones se realizan en horas de menor radiación para optimizar la absorción y evitar daños (Villagarcía, 1987). Es vital usar agua con pH de 5,5 a 6,5 e incluir un coadyuvante no iónico para asegurar la adherencia y penetración, buscando una cobertura uniforme, especialmente en el envés. Se priorizan quelatos y sales solubles, ajustando la dosis por etapa:

- Inicio/enraizamiento: fosfato monoamónico y quelato de Zn (1,0 - 1,5 g/L).
- Crecimiento: urea, sulfato de magnesio, quelato de Fe (1,5 - 2,5 g/L).
- Pre-Tuberización: nitrato de potasio, Ca y B (1,5 g/L).

La frecuencia estándar es de 7 a 10 días, comenzando con la dosis mínima y realizando una prueba de fitotoxicidad previa.



**Figura 58.** Aplicación de un traslocador foliar a base de fosfito de potasio para mejorar la calidad de semilla.

Fuente: PROSEM- EEA Canaán

## 15.4. Tutorado de camas

Es una práctica esencial para garantizar un desarrollo óptimo de las plantas. Consiste en instalar un enmallado horizontal que sirva de guía y soporte (Figura 59A y 59B). Cuando las plantas de papa alcanzan aproximadamente 50 cm de altura (Figura 60), este sistema permite sostenerlas durante su crecimiento, manteniendo una estructura vertical adecuada y evitando que se doblen o caigan por el peso de las hojas y tallos. De esta manera, se reduce el riesgo de daños mecánicos y se favorece una distribución uniforme de la luz y la aireación dentro del cultivo.



**Figura 59.** Tutorado de papa variedad Capiro de 2 meses de edad (A) y variedad Yungay de 4 y 3 meses de edad respectivamente (B).  
Fuente: PROSEM- EEA Canaán



**Figura 60.** Tutorado con cintas de polietileno sostenidas por varas de fierro de  $\frac{3}{4}$ " de papa variedad Peruanita.  
Fuente: PROSEM- EEA Canaán

## 15.5. Aporque

**Plasticultura:** esta labor cultural se puede efectuar utilizando coberturas de plástico negro, con orificios dispuestos a un distanciamiento de 15 x 10 cm para permitir la inserción de las plántulas. El empleo de esta cobertura (Figura 61), ofrece diversas ventajas como la reducción del crecimiento de malezas, contribuye a mantener un microambiente controlado al retener el calor y la humedad necesaria y, favorece el crecimiento de las plantas, promoviendo una mejor tuberización. Esto se traduce en un incremento significativo de la productividad y la calidad de la semilla pre básica.



**Figura 61.** Aporque con polietileno negro de papa variedad Yungay de 1 mes después de la siembra, esencial para la formación de los estolones y tuberculillos.

Fuente: PROSEM- EEA Canaán

**Aporque tradicional:** de forma similar a la actividad realizada en campo abierto, se utiliza parte del sustrato empleado en la siembra y se aplica cuidadosamente entre los surcos (Figura 62), a fin de no cubrir las plantas que se encuentran en pleno desarrollo, una vez agregado el sustrato, éste debe amontonarse y compactarse alrededor de los tallos, esta tarea debe realizarse manualmente, ya que debemos preservar la integridad de las plantas.



**Figura 62.** Aplicación de sustrato entre los surcos de las plantas de papa y compactado del sustrato alrededor de las plantas de papa.  
Fuente: PROSEM- EEA Arequipa

El número de aporques a realizar depende de la variedad con la que se trabaje, algunas variedades precoces tales como INIA 303 - Canchán o la variedad UNICA, cuyas campañas duran entre 110 a 120 días, pueden resistir con un solo aporque, pero lo más recomendable es realizar esta actividad dos veces durante la campaña.

Este trabajo nos garantiza que las plantas cuenten con suficiente espacio para el desarrollo óptimo de los tuberculillos y que estos no “verdeen” debido a la exposición directa con la luz, lo cual reduciría considerablemente la calidad de nuestra semilla pre básica de papa.

## 16. Cosecha de tuberculillos

Dos a tres semanas después del marchitamiento del follaje o una vez que la planta alcanza su índice de madurez fenológica, se debe realizar un muestreo previo del estado de los tuberculillos, evitando la cosecha cuando la piel aún sea muy delgada o esté “pelona” al tacto (Figura 63A y 63B).



**Figura 63.** Recojo de cobertura de polietileno para verificar la resistencia de la piel tuberculillos de papa variedad INIA 303 - Canchán previo a la cosecha (A) y muestreo de papa variedad Yungay lista para cosechar (B).

Fuente: PROSEM- EEA Canaán

Cuando los tuberculillos presentan una piel endurecida que no se desprende al tacto, se procede a retirar el plástico negro y realizar la cosecha de la semilla pre básica (Inostroza y Méndez, 2009). Esta condición garantiza una menor susceptibilidad a daños mecánicos durante la recolección (Figura 64). Para preservar la integridad del material, se recomienda efectuar la cosecha de forma manual.



**Figura 64.** Cosecha manual de tuberculillos de la variedad INIA 303 – Canchán.  
Fuente: PROSEM- EEA Canaán / EEA Arequipa

## 16.1 Clasificación de semillas

Las semillas pre básicas se clasifican siguiendo lo establecido en la Ley General de Semilla N° 27262 y su reglamento específico para semillas de papa (Decreto Supremo N° 010-2018-MINAGRI). Inicialmente se descartan aquellos tuberculillos deformes o con signos de daños por plagas, garantizando así la selección de las mejores semillas para un óptimo crecimiento y rendimiento de la semilla básica (Sola, 1986).

Tras esta primera selección, se realiza la clasificación según su calibre (Tabla 5), de esta forma se crea una diferencia visual entre el tamaño de los tuberculillos al momento de ser agrupados, siendo los de categoría gruesa los más voluminosos, para luego pasar a la categoría Primera, Segunda, Tercera y Cuarta (Figura 65A, 65B, 66A y 66B). Los tuberculillos por debajo de 1 g de peso son considerados como descarte. Esta clasificación simplifica los procesos de distribución comercial de la semilla pre básica.

**Tabla 5:** Clasificación de semilla pre básica según el D.S N° 010-2018 MIDAGRI

Clasificación de tamaño según D.S N° 010-2018 MIDAGRI	Clasificación según D.S N° 010-2018 MIDAGRI
Gruesa	Tubérculos mayores a 40 g.
Primera	Tubérculos entre 30 - 39 g.
Segunda	Tubérculos entre 20 - 29 g.
Tercera	Tubérculos entre 10 - 19 g.
Cuarta	Tubérculos entre 1 - 9 g.

Fuente: D.S N° 010-2018 MIDAGRI.

**A**



**Gruesa** > 40 g



**Primera**  
39 a 30 g



**Segunda**  
29 a 20 g



**Tercera**  
19 a 10 g

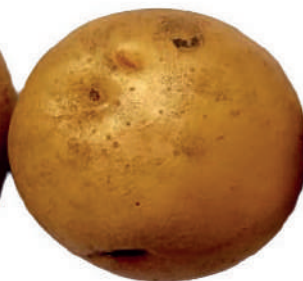


**Cuarta**  
9 a 1 g

**B**



**Gruesa** > 40 g



**Primera**  
39 a 30 g



**Segunda**  
29 a 20 g



**Tercera**  
19 a 10 g

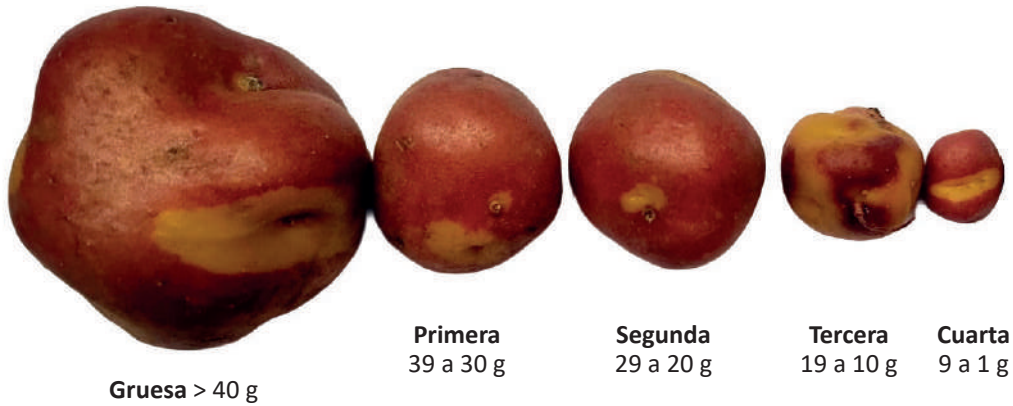


**Cuarta**  
9 a 1 g

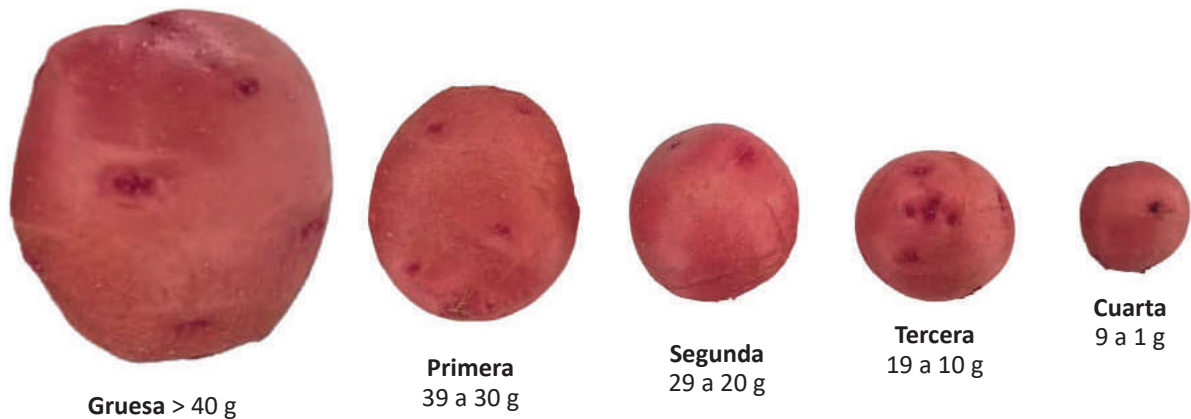
**Figura 65.** Clasificación de tubérculos de semilla pre básica de papa (*Solanum tuberosum*) según calibre establecido en el Decreto Supremo N° 010-2018 - MIDAGRI. Tuberculillos de variedad UNICA (A) y Yungay (B).

Fuente: PROSEM- EEA Arequipa

A



B



**Figura 66.** Clasificación de tubérculos de semilla pre básica de papa (*Solanum tuberosum*) según calibre establecido en el Decreto Supremo N° 010-2018 - MIDAGRI. Tuberculillos de variedad Peruanita (A) e INIA 303 - Canchán (B).

Fuente: PROSEM- EEA Arequipa

## 16.2. Comercialización de semilla de la clase genética

De acuerdo con el Decreto Supremo N° 010-2018-MINAGRI, los lotes de semilla de clase genética solo pueden comercializarse acompañados del certificado de análisis fitosanitario correspondiente, otorgado por un laboratorio autorizado por la autoridad en semillas, debiendo ser vendida únicamente a centros de investigación, investigadores y productores de semillas debidamente registrados ante la autoridad competente. Asimismo, la semilla debe estar clasificada por categorías de tamaño y envasada en costalillos que contengan la información del calibre, peso neto, variedad, clase de semilla, número de lote y datos del productor (Figura 67).



**Figura 67.** Tuberculillos clasificados según las especificaciones establecidas en la D.S. N° 010-2018 MIDAGRI (A).

Fuente: PROSEM- EEA Arequipa

## 17. Referencias bibliográficas

- Acuña, I., Sandoval, C., y Sepúlveda, C. (2021). *Enfermedades de la papa: Plataforma de evaluación de riesgo sanitario*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Chile. <http://enfermedadespapa.inia.cl>
- Agrios, G. N. (2005). *Plant pathology* (5th ed.). Academic Press.
- Arcos, J., y Zúñiga, D. (2016). Rizobacterias promotoras de crecimiento de plantas con capacidad para mejorar la productividad en papa. *Revista Latinoamericana de la Papa*, 20(1), 18–31. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5511986>
- Abdalla, N., El-Ramady, H., Seliem, M. K., El-Mahrouk, M. E., Taha, N., Bayoumi, Y., Shalaby, T. A., y Dobránszki, J. (2022). An academic and technical overview on plant micropropagation challenges. *Horticulturae*, 8(8), 677. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8080677>
- Alexopoulos, A., y Petropoulos, S. (2021). *The potato crop: Management, production, and food security* (P. M. Villa, Ed.). Nova Science Publishers. <https://doi.org/10.52305/RHLO1469>
- Birmeta, G., Safawo, T., Dida, M. G., y Bekele, E. (2022). Critical review on plant micropropagation of ethiopian plants reported so far: Existing gaps, required standardization, and future research direction. *Advances in Agriculture*, 2022, 1–22. <https://doi.org/10.1155/2022/5874899>
- Cahuana-Quispe, R., Barreda-Quispe, W., Roldán-Chávez, A., y Holguín-Chuquimamani, V. (2020). *Manual de producción de tubérculos semilla de buena calidad de papa*. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). ISBN 978-9972-44-058-8. <https://repositorio.inia.gob.pe/items/3801eeb0-9968-4bcb-b9b4-aec90c51704e>
- Colquehuanca Nina, G. S., y Blanco Villacorta, M. W. (2021). Importancia y beneficios del *Trichoderma* en la producción agrícola. *Revista Estudiantil AGRO-VET*, 5(2), 78–82. <https://agrovet.umsa.bo/index.php/AGV/article/view/64>
- De La Riva Aragón, N. (2013). *Polilla de la papa*. INIA – Estación Experimental Illpa-Puno, Plantwise. <https://repositorio.inia.gob.pe/server/api/core/bitstreams/e8304b88-727d-4007-9d30-64f28bb6bdec/content>
- Deiss, F. (2025, 17 septiembre). *Una guía para el manejo de plagas de la papa con biocontrol*. CABI BioProtection Portal. <https://bioprotectionportal.com/es/resources/a-guide-to-managing-potato-pests-with-biocontrol/>
- Galdames, R., y Gutiérrez, E. (2022, 16 de noviembre). *Virosis de la papa: Diagnóstico y control preventivo*. Portal Frutícola. <https://www.portalfruticola.com/noticias/2022/11/16/virosis-de-la-papa-diagnostico-y-control-preventivo/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2023). *FAOSTAT: Food and Agriculture Data (Production/Crops and Livestock Products)*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Fernández, E., Zorrilla, C., García, A., y Amasifuén, C. (2019). *Manual de conservación in vitro en el Banco de Germoplasma del INIA* (1a ed.). Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). [https://www.inia.gob.pe/wp-content/uploads/2019/12/conservacion\\_in\\_vitro\\_compressed.pdf](https://www.inia.gob.pe/wp-content/uploads/2019/12/conservacion_in_vitro_compressed.pdf)

- GOIA – Base de Datos de Organismos de Importancia Agrícola. (2018, Febrero 2). *Liriomyza huidobrensis – Detalle de la muestra 255*. <http://www.goia.es/muestra/detail/255>
- Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). (2013). *Buenas prácticas agrícolas en el cultivo de papa*. Estación Experimental Agraria Baños del Inca – Cajamarca. Martínez Compañón Editores S.R.L. ISBN 978-9972-44-058-8 / Depósito Legal N.º 2013-21010. <https://repositorio.inia.gob.pe/items/a530091a-8b5b-40e3-a248-aa0d8ac17dc7>
- Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). (2018). *Reglamento Específico de Semilla de Papa: Resolución Directoral N.º 010-2018-INIA*. [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/191715/DS\\_N\\_\\_010-2018-MINAGRI.pdf?v=1593814507](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/191715/DS_N__010-2018-MINAGRI.pdf?v=1593814507)
- Inostroza, J. F., y Méndez, P. L. (2009). *Almacenaje de papa*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Chile. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/7299/NR36511.pdf>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI). (2023). *Observatorio de siembras y perspectivas de producción: Papa*. Campaña 2022-2023 (Boletín Técnico). Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego del Perú. <https://www.gob.pe/institucion/midagri/informes-publicaciones/4344772-observatorio-de-siembras-y-perspectivas-de-produccion-2023>
- Ministerio de Agricultura (MINAGRI). (2015). *Día Nacional de la Papa*. DGSEP: Biodiversidad, seguridad alimentaria y negocios (Boletín N.º 1). Ministerio de Agricultura y Riego - Lima, Perú.
- Montesdeoca, F. (2005). *Guía para la producción, comercialización y uso de semilla de papa de calidad*. Proyecto FORTIPAPA, PNRT–INIAP. Quito, Ecuador.
- Murashige, T., y Skoog, F. (1962). A Revised Medium for Rapid Growth and Bio Assays with Tobacco Tissue Cultures. *Physiologia Plantarum*, 15(3), 473–497. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>
- Pęksa, A., y Miedzianka, J. (2021). Subproductos de la industria de la patata como fuente de proteína con propiedades nutricionales, funcionales, beneficiosas para la salud y antimicrobianas. *Applied Sciences*, 11 (8), 3497. <https://doi.org/10.3390/app11083497>
- Pérez, W., Alarcón, L., y Andrade-Piedra, J. (2024). *Reporte del curso: Procedimientos aplicados en la producción de semilla genética de papa*. International Potato Center. 19p. <https://doi.org/10.4160/cip.2024.12.026>
- Pinedo-Taco, R. (2023). Dynamics of seed systems in Peru. *Idesia (Arica)*, 41(1), 71-83. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292023000100071>
- Porras, P. D., y Herrera, C. A. (2015). *Modelo productivo de la papa criolla para los departamentos de Cundinamarca y Boyacá*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Quillas, L. (2024). *Manual digital de micropropagación* (1a ed.). GenPlant.
- Rizo, D. (2023). *Producción de papa con buenas prácticas agrícolas*. [https://assets.rikolto.org/paragraph/attachments/guia\\_papa\\_1.pdf](https://assets.rikolto.org/paragraph/attachments/guia_papa_1.pdf)
- Roca, W. M., y Mroginski, L. A. (1991). *Cultivo de tejidos en la agricultura: fundamentos y aplicaciones* (1a ed.). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

- Sola, M. (1986). *Selección y almacenamiento de semilla de papa*. En Memorias del IV Curso sobre tecnología del cultivo y manejo de semilla de papa (pp. 161–178). Quito, Ecuador, 15–17 de enero de 1986.
- Sifuentes, C., y Cornejo Villanueva, V. (2021). Identification and in silico comparison of transposable elements of *Solanum tuberosum* subsp. andigena from two localities of Peru. *bioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2021.08.03.453701>
- Sistemas de Riego SV. (2020). Construcción de invernaderos y casas malla. <https://sistemasderiegosv.com>
- Suárez, I. (2020). *Cultivo de Tejidos Vegetales* (1a ed.). Fondo Editorial Universidad de Córdoba. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/server/api/core/bitstreams/5eacebea-f261-4e7b-8ca8-67f37ba9d7fb/content>
- Tineo Vargas, V. S., Paitamala Campos, O., y Matsusaka Quiliano, D. C. (2025). Aplicación de O<sub>2</sub> y O<sub>3</sub> en semilla pre-básica de papa (*Solanum tuberosum* L.). *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 6(2), 43–47. <https://doi.org/10.25127/agrops.20252.1085>
- Villagarcía, S. (1987). *La nutrición mineral y la fertilización de la papa*. En El cultivo de papa con énfasis en producción de semilla (pp. 157–167). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Wijesinha-Bettoni, R. y Mouillé, B. (2019). The Contribution of Potatoes to Global Food Security, Nutrition and Healthy Diets. *American Journal of Potato Research*. 96, 139–149 (2019). <https://doi.org/10.1007/s12230-018-09697-1>



*Instituto Nacional de Innovación Agraria*

D.: Av. La Molina 1981, La Molina  
T.: (511) 240 2400  
[www.gob.pe/inia](http://www.gob.pe/inia)

ISBN: 978-9972-44-236-0



PERÚ

Ministerio  
de Desarrollo Agrario  
y Riego



*Instituto Nacional de Innovación Agraria*

