

Efecto de microtúneles para la aclimatación y desarrollo de variedades de papa en Huánuco

Effect of microtunnels on the acclimatization and development of potato varieties in Huánuco

Bertha Lucila Campos Ríos^{1,a}  , Alberth Jeremías Soto Amante^{1,b} ,
Gabriela Saravia Castillo^{2,c} , María de Lourdes Tapia y Figueroa^{3,c} 

Filiación institucional

¹ Universidad de Huánuco, Huánuco, Perú.

² Independiente, Lima, Perú.

³ Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

Grado académico

^a Ingeniera zootecnista

^b Ingeniero ambiental

^c Ingeniera agrónoma

Recibido: 20-10-25

Aprobado: 12-12-25

Publicado: 20-01-26

RESUMEN

Objetivo. Evaluar el efecto de dos tipos de microtúneles (de plástico y de tocuyo) sobre el crecimiento temprano de tres variedades de papa, identificando la interacción durante los 28 días posteriores a la instalación (DDI). **Métodos.** Se realizó un experimento factorial completamente al azar con nueve tratamientos (3 variedades × 3 microtúneles). Se evaluaron la sobrevivencia, la altura de planta, el número de hojas, el número de nudos, el peso fresco aéreo y la longitud de la raíz, registrados a los 7, 14, 21 y 28 DDI. Los datos fueron procesados mediante análisis de varianza (ANOVA) y medias de Tukey ($p < 0.05$). **Resultados.** Mostraron que, si bien el microtúnel de plástico incrementó el crecimiento inicial, fue el microtúnel de tocuyo el que generó un crecimiento estable y sostenido. El mejor desempeño integral correspondió a la variedad canchán, que presentó mayor supervivencia y mayor desarrollo radicular bajo tocuyo. Asimismo, la variedad qompis destacó en peso fresco a los 14, 21 y 28 DDI. Por lo tanto, el microtúnel de tocuyo ofrece condiciones equilibradas para sostener el crecimiento temprano de la papa, mientras que el plástico acelera la emergencia, pero no mantiene el vigor en etapas posteriores, siendo la variedad canchán la que muestra la mejor respuesta general bajo las condiciones de la cobertura de tocuyo.

Palabras clave: *Solanum tuberosum*; microtúnel; plástico agrícola; canchán; qompis; tomasa.

ABSTRACT

Objective. To evaluate the effect of two types of microtunnels (plastic and tocuyo fabric) on the early growth of three potato varieties, identifying their interaction during the 28 days after installation (DAI). **Methods.** A completely randomized factorial experiment with nine treatments (3 varieties × 3 microtunnels) was conducted. Survival rate, plant height, number of leaves, number of nodes, aerial fresh weight, and root length were evaluated at 7, 14, 21, and 28 DAI. Data were processed using analysis of variance (ANOVA) and Tukey's mean comparison test ($p < 0.05$). **Results.** The results showed that although the plastic microtunnel increased initial growth, the tocuyo microtunnel provided more stable and sustained growth. The best overall performance corresponded to the canchán variety, which exhibited higher survival and greater root development under tocuyo conditions. Likewise, the Qompis variety stood out in fresh weight at 14, 21, and 28 DAI. Therefore, the tocuyo microtunnel offers balanced conditions to sustain the early growth of potato plants, whereas plastic accelerates emergence but does not maintain vigor in later stages, being the canchán variety which showed the best overall response under tocuyo cover conditions.

Keywords: *Solanum tuberosum*; microtunnel; agricultural plastic; canchán; qompis; tomasa.

Citar como: Campos Ríos, B. L., Soto Amante, A. J., Saravia Castillo, G., y Tapia y Figueroa, M. L. (2026). Efecto de microtúneles para la aclimatación y desarrollo de variedades de papa en Huánuco. *Revista Peruana de Ingeniería, Arquitectura y Medio Ambiente*, 3(1), 37-47. <https://doi.org/10.37711/repiama.2026.3.1.4>



Introducción

La papa (*Solanum tuberosum* L.) continúa siendo uno de los cultivos clave del sistema agroalimentario mundial, debido a su elevada productividad, su adaptabilidad a diferentes condiciones agroecológicas y su capacidad para generar rendimientos consistentes incluso bajo diversas prácticas agrícolas (Devaux et al., 2021; Mølmann & Johansen, 2025). Asimismo, contribuye al ingreso y a la seguridad alimentaria (Ortiz & Mares, 2017; Pérez et al., 2024), ya que se considera una fuente de carbohidratos y nutrientes para el ser humano (Zierer et al., 2021). Por otro lado, a pesar de los desafíos climáticos, la papa mantiene un alto potencial productivo bajo un manejo adecuado, lo que la posiciona como un cultivo estratégico para el desarrollo agrícola sostenible (Adekanmbi et al., 2024; Islam et al., 2024).

El establecimiento temprano del cultivo de papa es una fase crítica que determina la supervivencia de las plántulas, la formación del sistema radicular y el rendimiento final del cultivo. En regiones donde predominan bajas temperaturas nocturnas, elevada variabilidad térmica o déficit hídrico en la superficie, se ven afectadas la uniformidad y la productividad del cultivo (Scavo et al., 2023). Ante este escenario, el uso de estructuras como microtúneles es una estrategia relevante para modificar las condiciones, lo que favorece su establecimiento (Sahu & Dubey, 2023; Šrećkov et al., 2025).

Los microtúneles pueden influir en la temperatura, la humedad relativa y la radiación, generando condiciones que pueden acelerar la emergencia y el crecimiento inicial; sin embargo, su eficacia dependerá de las características del material. Estudios recientes han demostrado que las coberturas plásticas pueden incrementar la temperatura y la eficiencia en el uso del agua, mejorando el vigor temprano de la planta (Xiu et al., 2023; Liu et al., 2024). Sin embargo, el exceso de retención térmica y la limitada ventilación pueden inducir estrés microclimático, reducir el desarrollo radicular y comprometer la estabilidad fisiológica del cultivo (López-Martínez et al., 2021). En contraste, materiales como las telas agrícolas facilitan la ventilación y reducen la amplitud térmica.

A nivel genético, la respuesta de la papa a las modificaciones del microclima depende en gran medida del genotipo. Investigaciones relacionadas con la interacción genotipo × ambiente han revelado diferencias significativas en la plasticidad fenotípica, la tolerancia a la variación térmica, la eficiencia en el desarrollo radicular y la estabilidad productiva entre variedades (Zinta et al., 2022; Tatarowska et al., 2024). Esta variabilidad implica que la eficacia de un microtúnel no puede generalizarse, sino que debe evaluarse en su interacción específica con cada variedad cultivada. En consecuencia, evaluar la respuesta conjunta de distintos materiales y variedades es esencial para generar recomendaciones sostenibles.

En este contexto, la presente investigación se desarrolló para comparar los efectos de dos materiales de microtúnel —plástico y tocuyo— sobre el desarrollo temprano de plantas de tres variedades de papa, evaluando variables morfológicas asociadas al establecimiento. El objetivo del estudio fue determinar la interacción entre el material de cobertura y la variedad e identificar la combinación eficiente para el cultivo de papa.

Métodos

Tipo y área de estudio

El estudio tuvo un enfoque cuantitativo y experimental, con un diseño factorial completamente al azar (3 × 3), correspondiente a tres materiales de microtúnel: tela de Tocuyo, plástico 10-14 (abierto 10 horas, cerrado 14 horas) y plástico 24 (cerrado 24 horas), y tres variedades de papa: canchán, qompis y tomasa.

La investigación se llevó a cabo en el invernadero de la Universidad de Huánuco, ubicado en la ciudad de Huánuco, Perú. Ello se desarrolló entre noviembre de 2024 y febrero de 2025.

El área experimental estuvo conformada por tres módulos de microtúneles, cada uno de 3 m², cubiertos con el material correspondiente (Figura 1).

Figura 1*Microtúneles para la instalación de plantas en etapa de aclimatación*

Población y muestra

La población experimental estuvo formada por plantas de papa micropropagadas *in vitro*, previamente enraizadas en condiciones de laboratorio.

Para cada combinación de variedad × material de microtúnel, se establecieron 40 plantas y se evaluó la totalidad de los individuos. En total, el experimento incluyó 360 plantas (3 variedades × 3 materiales × 40 plantas).

Variable e instrumentos de recolección de datos

Se evaluaron cinco variables cuantitativas de crecimiento, representativas de la fase de aclimatación:

1. **Altura de planta (cm):** medida desde el cuello hasta el ápice principal de la planta.
2. **Número de hojas (unidades):** conteo de hojas completamente expandidas.
3. **Número de nudos (unidades):** número total de nudos visibles en la planta.
4. **Peso fresco de la planta (g):** peso de la parte aérea de la planta, determinado con una balanza analítica, utilizando una muestra de 10 plantas por evaluación.
5. **Longitud de la raíz (cm):** medida desde el cuello hasta el extremo distal de la raíz principal.
6. **Supervivencia de plantas (%):** calculada como el porcentaje de plantas vivas respecto al número total inicial, mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Supervivencia} = (\text{plantas vivas} / \text{plantas totales}) \times 100$$

Las mediciones se realizaron a los 7, 14, 21 y 28 DDI.

Técnicas y procedimientos de la recolección de datos

Las plántulas micropropagadas fueron trasplantadas en bandejas con sustrato compuesto por suelo preparado, musgo, tierra, humus y fertilizante complementario. Una vez completado el trasplante, se colocaron en el microtúnel correspondiente a cada tratamiento.

Las variables se evaluaron cada 7 días según se indicó en el punto anterior. De igual manera, la supervivencia se registró en cada fecha de evaluación, considerando como plantas vivas aquellas con turgencia foliar y crecimiento activo.

Análisis de datos

El experimento se condujo bajo un diseño factorial completamente al azar (3×3), con tres materiales de microtúnel y tres variedades de papa, considerando como factores el tipo de material y la variedad.

Se efectuó un ANOVA para determinar los efectos principales y la interacción material \times variedad en las evaluaciones realizadas a los 7 y 14 DDI. Asimismo, se realizó la prueba de comparación múltiple de Tukey ($\alpha = 0.05$) para separar las medias.

En las evaluaciones a los 21 y 28 DDI, debido a que la supervivencia de plántulas se limitó a un solo tipo de material, se aplicó un ANOVA de un solo factor (variedad).

El procesamiento y el análisis estadístico se llevaron a cabo con el *software* RStudio (versión 3.6.3).

Resultados

Sobrevivencia de plantas

La supervivencia de las plántulas mostró variaciones marcadas según el material empleado en el microtúnel y la variedad (Tabla 1). Los tratamientos bajo el microtúnel de tocuyo presentaron un desempeño consistente y favorable, con valores iniciales de supervivencia superiores al 92 % en las tres variedades, y alcanzando el 100 % de supervivencia a los 21 DDI. En contraste, los tratamientos con plástico 10-14 mostraron un patrón de supervivencia inferior e inestable. Aunque las variedades iniciaron entre el 57.5 % y el 72.5 %, se observó una disminución pronunciada a los 14 DDI, principalmente en las variedades canchán y tomasa. Esta caída sugiere que el microambiente generado por este material presenta fluctuaciones térmicas y de humedad más drásticas, lo que compromete el vigor inicial y el desarrollo de tejidos jóvenes.

Por su parte, los microtúneles de plástico con cobertura las 24 horas (plástico 24) presentaron la supervivencia más baja entre los materiales evaluados. Esto sugiere que el mayor tiempo de cobertura genera condiciones que comprometen gravemente el establecimiento de las plántulas. Aunque tomasa mostró una resistencia relativamente mayor frente a estas condiciones, ninguno de los tratamientos con plástico se aproximó al desempeño observado con tocuyo.

Asimismo, se observó que canchán es la variedad más susceptible a microambientes no óptimos, mientras que tomasa mostró mayor tolerancia. Estas respuestas indican la existencia de un efecto combinado entre el material de cobertura y la variedad.

Tabla 1

Porcentaje de supervivencia de plantas de tres variedades de papa bajo tres tipos de microtúnel durante las primeras cuatro semanas después de la instalación (7, 14, 21 y 28 DDI)

Material: variedad	7 DDI	14 DDI	21 DDI	28 DDI
Tocuyo: canchán	95.00 %	96.43 %	100.00 %	100.00 %
Tocuyo: qompis	92.50 %	96.29 %	100.00 %	100.00 %
Tocuyo: tomasa	97.50 %	96.55 %	100.00 %	100.00 %
Plástico 10-14: canchán	57.50 %	23.08 %		
Plástico 10-14: qompis	72.50 %	52.63 %		
Plástico 10-14: tomasa	72.50 %	42.11 %		
Plástico 24: canchán	20.00 %			
Plástico 24: qompis	22.50 %			
Plástico 24: tomasa	40.00 %			

Altura de planta

A los 7 DDI, la altura de planta presentó diferencias altamente significativas entre los tres factores: material de microtúnel ($p < 0.01$), variedad ($p < 0.01$) y la interacción material \times variedad ($p < 0.001$). Mientras que, a los

14 DDI, se mantuvo el efecto significativo del material e interacción ($p < 0.001$), aunque el efecto de la variedad no mostró diferencias estadísticamente significativas (Tabla 2).

Este comportamiento sugiere que el crecimiento estuvo condicionado tanto por las condiciones físicas del microambiente generado por el material de cobertura como por la respuesta de cada variedad.

De acuerdo con la prueba de Tukey (Tabla 4), a los 7 DDI, las mayores alturas se observaron en las combinaciones de la variedad tomasa con plástico 24 y plástico 10-14, con valores de 5.61 cm y 5.38 cm, respectivamente, seguidas de tocuayo-canchán (5.33 cm) y tocuayo-qompis (5.21 cm), siendo estas dos últimas las más desarrolladas a los 14 DDI, con 8.90 cm y 9.00 cm, respectivamente.

De los tres materiales evaluados, solo el primero (tocuyo) presentó resultados hasta los 28 DDI. La altura de planta mostró diferencias altamente significativas tanto a los 21 DDI ($p < 0.001$) como a los 28 DDI ($p < 0.001$). Estos valores indican que la elongación difirió de manera consistente entre las variedades, manteniendo una tendencia estable (Tabla 3).

En este caso, según la prueba de Tukey (Tabla 5), la variedad qompis fue significativamente diferente de canchán y tomasa, presentando el mayor desarrollo a los 21 DDI y 28 DDI, con 15.27 cm y 23.82 cm, respectivamente.

Número de hojas

A los 7 DDI, el número de hojas no mostró diferencias significativas entre los materiales, pero sí entre las variedades ($p < 0.01$) y entre la interacción material \times variedad ($p < 0.001$). Eso sugiere que la emisión foliar inicial estuvo condicionada principalmente por la variedad de papa y por su respuesta a las condiciones ambientales. A los 14 DDI, el efecto del material mostró una ligera influencia, mientras que la variedad fue altamente significativa ($p < 0.001$), en contraste con la interacción, que no fue estadísticamente significativa (Tabla 2). Ello podría indicar que las variaciones propias de la variedad predominaron sobre el material de la cobertura. Los resultados de las medias (Tabla 4) indicaron que la variedad tomasa generó una mayor formación de hojas bajo los microtúneles de plástico 24 (9.90) y de plástico 10-14 (7.20), siendo estas estadísticamente iguales entre sí. Sin embargo, esta tendencia cambió a los 14 DDI, donde el mejor desarrollo se observó en el material de tocuayo para las variedades tomasa (15.10) y qompis (12.10).

En la última etapa de desarrollo, el número de hojas mostró diferencias significativas entre las variedades en ambas evaluaciones ($p < 0.001$; Tabla 3). Esto se reflejó en la comparación de medias (Tabla 5), donde la variedad tomasa presentó la mayor formación de hojas a los 21 DDI, con 21.80 hojas por planta, y fue significativamente diferente de las demás variedades. Aunque a los 28 DDI tomasa mantuvo el mayor valor (23.75), este fue estadísticamente igual al de la variedad qompis (18.67).

Número de nudos

En relación con el número de nudos, en los 7 DDI se identificaron diferencias altamente significativas entre variedades ($p < 0.001$), siendo menor la interacción material \times variedad ($p < 0.05$). Por el contrario, a los 14 DDI, los tres factores (material, variedad e interacción) mostraron efectos altamente significativos ($p < 0.001$). De modo que el desarrollo del tallo se vio regulado tanto por las características propias de la variedad como por el tipo de cobertura (Tabla 2). En este sentido, la variedad tomasa presentó una mayor formación de nudos a los 7 DDI (11.00) bajo el microtúnel de plástico 24 y a los 14 DDI bajo el material de tocuayo, que generó el mayor número de brotes (13.20), siendo en ambos casos estadísticamente diferentes de los demás tratamientos (Tabla 4).

Por otro lado, a los 21 DDI, el número de nódulos difirió significativamente entre variedades ($p < 0.001$), mientras que a los 28 DDI no se observaron diferencias. Esto se refleja en los resultados del análisis de Tukey (Tabla 5), donde, a los 21 DDI, la variedad tomasa sobresalió con 15.20 nudos por planta, siendo estadísticamente diferente. A los 28 DDI, si bien las tres variedades fueron numéricamente diferentes, estadísticamente resultaron iguales.

Peso fresco

La variable peso fresco presentó diferencias significativas para el factor variedad ($p < 0.01$) y, en menor medida, para la interacción material \times variedad ($p < 0.05$). Sin embargo, a los 14 DDI, los resultados mostraron que el efecto del material ($p < 0.001$) tuvo una mayor influencia, mientras que la variedad ($p < 0.05$) influyó en menor medida. Por otro lado, la interacción material \times variedad indica una influencia mínima ($0.05 < p < 0.10$; Tabla 2). Por lo tanto, el crecimiento vegetativo y la acumulación de materia fresca estuvieron influidos tanto por las propiedades del material de microtúnel como por la capacidad fisiológica de cada variedad. A pesar de ello, los tratamientos con mejores resultados a los 14 DDI fueron los microtúneles de tocuyo, con las variedades qompis (0.31 g) y tomasa (0.28 g), que fueron estadísticamente diferentes de las demás interacciones (Tabla 4).

En cuanto a los tratamientos con tocuyo, el peso fresco evidencia diferencias significativas entre variedades en ambos momentos de evaluación ($p < 0.01$ y $p < 0.001$ para 21 DDI y 28 DDI, respectivamente; Tabla 3). La persistencia de la significancia a lo largo del tiempo sugiere una diferenciación sostenida en el crecimiento y en la asimilación de recursos. En este caso, la variedad que presentó el mayor peso fresco en ambos momentos fue qompis, con 0.50 g y 0.83 g a los 21 DDI y 28 DDI, respectivamente (Tabla 5).

Longitud de raíz

La longitud de raíz presentó diferencias significativas únicamente en la interacción material \times variedad ($p < 0.05$) a los 7 DDI, lo que sugiere que el desarrollo radicular inicial dependió de la combinación de ambos factores. Por otro lado, a los 14 DDI, los tres factores presentaron efectos altamente significativos ($p < 0.001$), lo que indica que tanto el microambiente como la variedad determinaron el desarrollo radicular (Tabla 2). La variedad canchán bajo el microtúnel de tocuyo presentó un mejor desarrollo radicular a los 7 DDI (6.31 cm) y 14 DDI (8.00 cm), seguida de la variedad qompis en el mismo material, con valores de 6.05 cm y 8.50 cm, a los 7 DDI y 14 DDI, respectivamente (Tabla 4).

Siendo los tratamientos con microtúnel de tocuyo los que sobrevivieron hasta los 28 DDI, se observaron diferencias altamente significativas entre las variedades ($p < 0.001$; Tabla 3). Nuevamente, las variedades qompis y canchán fueron las que alcanzaron el mayor desarrollo, con valores de 11.70 cm y 10.77 cm, respectivamente, a los 28 DDI, y fueron significativamente diferentes de tomasa (Tabla 5).

Tabla 2

ANOVA de los efectos del material de microtúnel, la variedad de papa y su interacción sobre los parámetros de desarrollo vegetativo a los 7 y 14 DDI en microtúnel

Descripción	Altura de planta								Número de hojas							
	7 DDI				14 DDI				7 DDI				14 DDI			
	Df	F value	Pr(>F)	NS	Df	F value	Pr(>F)	NS	Df	F value	Pr(>F)	NS	Df	F value	Pr(>F)	NS
Material	2	6.342	0.00276	**	1	19.585	4.71E-05	***	2	2.106	0.12838		1	3.515	0.066240	.
Variedad	2	6.109	0.00338	**	2	2.783	0.070737	.	2	5.599	0.00528	**	2	9.443	0.000304	***
Material: Variedad	4	5.146	0.00096	***	2	10.833	0.000111	***	4	5.487	0.00058	***	2	0.196	0.822728	
Error	81				54				81				54			
Descripción	Número de nudos								Peso fresco							
	7 DDI				14 DDI				7 DDI				14 DDI			
	Df	F value	Pr(>F)	NS	Df	F value	Pr(>F)	NS	Df	F value	Pr(>F)	NS	Df	F value	Pr(>F)	NS
Material	2	0.123	0.8847		1	151.17	<2E-16	***	2	1.296	0.2791		1	18.976	5.96 E-05	***
Variedad	2	12.708	1.58E-05	***	2	54.00	1.31 E-13	***	2	6.976	0.0016	**	2	4.009	0.0238	*
Material: Variedad	4	3.491	0.0111	*	2	17.91	1.08 E-06	***	4	2.969	0.0243	*	2	2.994	0.0585	.
Error	81				54				81				54			
Descripción	Longitud de raíz															
	7 DDI				14 DDI											
	Df	F value	Pr(>F)	NS	Df	F value	Pr(>F)	NS								
Material	2	2.166	0.12128		1	22.20	1.7 E-05	***								
Variedad	2	2.023	0.13892		2	91.92	<2E-16	***								
Material: Variedad	4	3.986	0.00529	**	2	61.98	1.04E-14	***								
Error	81				54											

Nota. Df = grados libertad; NS = nivel de significancia.

Tabla 3

ANOVA de los efectos del material de microtúnel (tocuyo) en el desarrollo vegetativo de las variedades de papa a los 21 y 28 DDI en microtúnel

Descripción	Df	Altura de planta						Número de hojas					
		21 DDI			28 DDI			21 DDI			28 DDI		
		F value	Pr(>F)	NS	F value	Pr(>F)	NS	F value	Pr(>F)	NS	F value	Pr(>F)	NS
Variedad	2	12.59	0.000137	***	114.1	6.77E-14	***	21.96	2.17E-06	***	16.11	2.48E-05	***
Error	27												

Descripción	Df	Número de nudos						Peso fresco					
		21 DDI			28 DDI			21 DDI			28 DDI		
		F value	Pr(>F)	NS	F value	Pr(>F)	NS	F value	Pr(>F)	NS	F value	Pr(>F)	NS
Variedad	2	29	1.89E-07	***	3.105	0.0611	.	5.777	0.00816	**	10.76	0.000366	***
Error	27												

Descripción	Df	Longitud de raíz					
		21 DDI			28 DDI		
		F value	Pr(>F)	NS	F value	Pr(>F)	NS
Variedad	2	74.75	9.83E-12	***	98.96	3.72E-13	***
Error	27						

Nota. Df = grados libertad; NS = nivel de significancia.

Tabla 4

Comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) para la interacción material \times variedad en los parámetros de desarrollo vegetativo a los 7 y 14 DDI en microtúnel

Material: variedad	Altura de planta (cm)		Número de hojas		Número de nudos		Peso fresco (g)		Longitud de raíz (cm)	
	7 DDI	14 DDI	7 DDI	14 DDI	7 DDI	14 DDI	7 DDI	14 DDI	7 DDI	14 DDI
Tocuyo: canchán	5.33 a	8.90 a	4.90 b	7.30 b	5.60 b	5.20 b	0.11 b	0.19 b	6.31 a	8.00 a
Tocuyo: qompis	5.21 a	9.00 a	4.80 b	12.10 ab	2.90 b	5.20 b	0.17 b	0.31 a	6.05 a	8.50 a
Tocuyo: tomasa	4.63 ab	6.30 b	3.50 b	15.10 a	5.10 b	13.20 a	0.13 b	0.28 a	3.03 ab	1.87 d
Plástico 10-14: canchán	4.27 abc	6.64 b	5.10 b	6.00 b	4.20 b	1.00 c	0.13 b	0.17 b	6.04 a	6.11 b
Plástico 10-14: qompis	4.32 abc	5.43 b	5.90 b	9.00 b	2.50 b	1.90 c	0.12 b	0.17 b	4.29 ab	4.28 c
Plástico 10-14: tomasa	5.38 a	7.02 b	7.20 ab	12.13 ab	6.80 b	3.63 b	0.24 ab	0.19 b	5.54 a	4.42 c
Plástico 24: canchán	3.24 bc		2.88 b		2.38 b		0.14 b		4.21 ab	
Plástico 24: qompis	2.69 c		3.56 b		1.56 b		0.10 b		1.84 b	
Plástico 24: tomasa	5.61 a		9.90 a		11.00 a		0.33 a		5.68 a	

Nota. Las medias con la misma letra dentro de una columna no difieren significativamente según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Tabla 5

Comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) de los efectos del material de microtúnel (tocuyo) en el desarrollo vegetativo de las variedades de papa a los 21 y 28 DDI en microtúnel

Variedad	Altura de planta (cm)		Número de hojas		Número de nudos		Peso fresco (g)		Longitud de raíz (cm)	
	21 DDI	28 DDI	21 DDI	28 DDI	21 DDI	28 DDI	21 DDI	28 DDI	21 DDI	28 DDI
Canchán	13.36 a	15.01 b	9.7 c	11.43 b	7.10 b	9.29 a	0.29 b	0.40 b	9.21 a	10.77 a
Qompis	15.27 a	23.82 a	15.5 b	18.67 a	8.60 b	13.17 a	0.50 a	0.83 a	9.51 a	11.70 a
Tomasas	10.06 b	13.90 b	21.8 a	23.75 a	15.20 a	12.25 a	0.42 ab	0.55 b	1.15 b	0.89 b

Nota. Las medias con una misma letra dentro de una columna no difieren significativamente según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

DISCUSIÓN

Los resultados del presente estudio evidencian que la cobertura mediante microtúneles moduló el establecimiento y el desarrollo vegetativo de las plantas de papa, los cuales dependen tanto del material como de la variedad. Esta interacción es especialmente relevante en las etapas tempranas de aclimatación. Trabajos previos sobre el uso de microtúneles indican que las condiciones climáticas dentro de la estructura alteran la demanda transpirable de las plantas, lo que afecta su tasa de establecimiento (Torres & Arancibia, 2023). La sobrevivencia casi completa bajo tocuyo indica que este material creó un entorno de mayor estabilidad, moderando la temperatura y la humedad dentro de la estructura. Caso contrario al material de plástico, que impactó negativamente en el establecimiento de la planta. Si bien hay evidencia de que el uso de este material puede generar beneficios, no podría considerarse una solución universal, ya que intervienen factores como el clima de la zona, las especies, entre otros (Zhang et al., 2020; Zhou et al., 2023).

En particular, el tratamiento plástico 24 en la variedad tomasa promovió el mayor vigor aéreo a los 7 DDI, mientras que, a partir de los 14 DDI, los tratamientos con microtúnel de tocuyo (específicamente con las variedades qompis y tomasa) destacaron en la mayoría de las variables aéreas. Estos hallazgos coinciden con lo observado en investigaciones realizadas en condiciones de Ecuador, donde las variedades superchola y chaucha registraron un incremento de la biomasa aérea y, por consiguiente, una optimización de la tasa fotosintética (Bermeo et al., 2023). Paralelamente, la longitud de raíz fue consistentemente mayor en tocuyo-canchán y tocuyo-qompis durante el periodo de estudio. Estos patrones se interpretan como parte de la dinámica microclimática generada por los distintos materiales y de la respuesta varietal diferencial a dicho microambiente.

En otros cultivos, como fresa y pimiento, se encontró un rendimiento superior al del cultivo en campo abierto (Zermeño-González et al., 2019; Abad-Abad et al., 2020), lo que optimiza el vigor aéreo. Bermeo et al. (2023) reportaron un incremento del rendimiento en el cultivo de papa, con 12.6 t/Ha, y alcanzaron entre 83 y 86 hojas por planta. Por otro lado, Torres & Arancibia (2023) mejoraron el crecimiento vegetativo, incrementando la eficiencia en el uso del agua y de los nutrientes. De igual manera, en cultivos como el melón, se incrementó la cosecha en los primeros 15-18 días, acumulando entre el 65 y el 80 % (Gaytán-Mascorro et al., 2020).

Los microtúneles de plástico cerrado inducen, a corto plazo, un microclima cálido y húmedo, condiciones que favorecen procesos fisiológicos como la expansión celular y la emergencia (López-Martínez et al., 2021; Xu et al., 2023). En trabajos en los que se comparan túneles bajos y cubiertas plásticas, se registran incrementos de temperatura en el dosel y en el sustrato, lo que puede acelerar el crecimiento inicial; sin embargo, si estos incrementos son permanentes, pueden ocasionar estrés térmico (Adamović et al., 2021; López-Martínez et al., 2021; Liu et al., 2024). Asimismo, los microtúneles con tela de polipropileno no tejida redujeron drásticamente la incidencia de patógenos mediante una mejor ventilación (Molina, 2005), lo cual es similar al efecto transpirable del tocuyo. Esto sustenta las observaciones de la presente investigación, en la que la ventaja inicial de los microtúneles de plástico no se mantuvo y, a mediano plazo, los tratamientos con microtúneles de tocuyo sobresalieron en las diferentes variables evaluadas, como la altura de planta, el número de hojas, el número de nudos y el peso fresco.

La ventilación limitada y la acumulación de calor en los microtúneles cerrados de forma continua pueden elevar la temperatura diurna por encima del óptimo fisiológico, reduciendo la tasa fotosintética o imponiendo estrés térmico a los tejidos, especialmente cuando la biomasa aérea comienza a incrementarse (Yordanova et al., 2021; Kader et al., 2024). Por otro lado, estos microtúneles plásticos pueden alterar la dinámica hídrica, así como la oxigenación del suelo, efectos que también terminan condicionando el desarrollo radicular y, por ende, la transferencia de agua y nutrientes a la parte aérea (Kovácsné Madar & Takácsné Hájós, 2022; Shi et al., 2022; Meng et al., 2022), lo cual sería el posible causante de los resultados negativos de los microtúneles con plástico.

En contraste, el tocuyo, un material con mayor permeabilidad y mejor intercambio de aire, proporciona un microclima interno más estable, lo que influye positivamente en las condiciones de humedad del suelo. Esto se corresponde con las mejores longitudes de raíz observadas de manera consistente en las variedades canchán y qompis. Así, la arquitectura radicular es sensible a las variaciones térmicas e hídricas, lo que explica que una

cobertura ventilada favorece un sistema radicular temprano y robusto, asociado a una mayor resiliencia y un rendimiento potencial (Joshi et al., 2016; Zinta et al., 2022; Gaisser et al., 2024).

La heterogeneidad varietal que se observa, con la variedad tomasa destacando tempranamente bajo el microtúnel de plástico y las variedades canchán y qompis sobresaliendo bajo el microtúnel de tocuyo en etapas posteriores, confirma la existencia de una interacción microtúnel-variedad. Este patrón es consistente con estudios sobre la interacción genotipo × ambiente, que señalan respuestas varietales divergentes ante diferencias ambientales (Nasir & Toth, 2021; Kwambai et al., 2024; Zhou et al., 2025).

Conclusiones

Las coberturas evaluadas generaron microambientes que influyeron directamente en la sobrevivencia y el establecimiento temprano de las plantas, lo que confirma que las modificaciones inducidas por el microtúnel son determinantes en esta etapa de desarrollo. En particular, el microtúnel de tocuyo mostró una mayor permeabilidad, lo que promovió un ambiente más estable, que se reflejó en una mejor sobrevivencia y desarrollo vegetal; y, además, evidenció la interacción entre el ambiente generado por la cobertura y el genotipo. Por el contrario, la cobertura de plástico produjo una mayor variabilidad en el ambiente interno, lo que incrementó el estrés vegetal y disminuyó la tasa de supervivencia. En este contexto, la variedad canchán bajo microtúnel de tocuyo presentó el desempeño más favorable, lo que sugiere una mayor capacidad adaptativa y una respuesta fisiológica más eficiente frente al microclima generado.

Estos hallazgos resaltan la importancia de seleccionar adecuadamente tanto el tipo de cobertura como la variedad cultivada, debido a su efecto conjunto en el éxito del establecimiento del cultivo. En la agricultura peruana, priorizar el uso de microtúneles de tocuyo en variedades como canchán no solo favorece una ventilación progresiva y un mayor vigor aéreo, sino que también representa una alternativa más sostenible frente a materiales plásticos, optimizando la aclimatación en zonas de altura. En este sentido, se recomienda ampliar la escala de evaluación de este tipo de microtúneles, incorporando un mayor número de plantas y extendiendo su aplicación a diversas condiciones geográficas, con el fin de validar su eficiencia y promover su adopción en sistemas productivos.

Referencias

- Abad-Abad, C. F., Jiménez-Alvaréz, L. S., y Capa-Mora, E. D. (2020). Efecto de la cubierta (microtúnel) en la productividad de dos variedades de fresa (*Fragaria vesca*) en el sector Cajanuma cantón Loja. *La Granja. Revista de Ciencias de la Vida*, 31(1), 131-141. <http://doi.org/10.17163/lgr.n31.2020.10>
- Adamović, B., Paroški, D., Vojnović, Đ., & Ilin, Ž. (2021). The effect of mulching and low tunnel on the yield, yield components and quality of watermelon. *Acta Horticulturae*, 1320, 101-108. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1320.13>
- Adekanmbi, T., Wang, X., Basheer, S., Liu, S., Yang, A., & Cheng, H. (2024). Climate change impacts on global potato yields: a review. *Environmental Research: Climate*, 3(1), 012001. <https://doi.org/10.1088/2752-5295/ad0e13>
- Bermeo, L. Y., Macas, K. M., y Quevedo, J. N. (2023). Efecto de micro túneles y estufas en el comportamiento agronómico de dos cultivares de papa. *Revista Científica Agroecosistemas*, 11(1), 124-131. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/605>
- Devaux, A., Goffart, J.-P., Kromann, P., Andrade-Piedra, J., Polar, V., & Hareau, G. (2021). The potato of the future: Opportunities and Challenges in sustainable Agri-food systems. *Potato Research*, 64, 681-720. <https://doi.org/10.1007/s11540-021-09501-4>
- Gaisser, R., Kuehn, K., & Pritts, M. (2024). Novel low tunnel coverings and plant type affect productivity of day-neutral strawberries. *HortTechnology*, 34(3), 381-387. <https://doi.org/10.21273/HORTECH05409-24>
- Gaytán-Mascorro, A., Chew-Mandinaveita, Y. I., Espinoza-Arellano, J. J., Reta-Sánchez, D. G., Samaniego-Gaxiola, J. A., & Martínez-Agüero, H. J. (2020). Use of micro tunnels to produce cantaloupe melon out of season in the comarca lagunera region, northern Mexico. *Horticulture International Journal*, 4(4): 122-123. <https://doi.org/10.15406/hij.2020.04.00169>
- Islam, S., Li, J., Rahman, M. A., Xie, F. Song, B., & Nie, B. (2024). Resistance to biotic and abiotic stress in potato: the origin of the genes and corresponding molecular markers. *Phytopathology Research*, 6, 4. <https://doi.org/10.1186/s42483-023-00222-9>
- Joshi, M., Fogelman, E., Belasov, E., & Ginzberg, I. (2016). Potato root system development and factors that determine its architecture. *Journal of Plant Physiology*, 205, 113-123. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2016.08.014>
- Kader, M. A., Musaddika, A., Mojid, M. A., & Khan, F. H. (2024). Effect of plastic mulch and strip tillage on soil hydrothermal characteristics and potato cultivation in the Bogura district of Bangladesh. *Irrigation and Drainage*, 73(3), 895-909. <https://doi.org/10.1002/ird.2926>

- Kovácsné Madar, Á., & Takácsné Hájos, M. (2022). Agronomic evaluation of different lettuce (*Lactuca sativa* L.) varieties under unheated plastic tunnel. *International Journal of Horticultural Science*, 28, 50-56. <https://doi.org/10.31421/ijhs/28/2022/10314>
- Kwambai, T. K., Struik, P. C., Gorman, M., Nyongesa, M., Rop, W., Kemboi, E., & Griffin, D. (2024). Understanding genotype x environment interactions in potato production to guide variety adoption and future breeding strategies. *Potato research*, 67, 663-694. <https://doi.org/10.1007/s11540-023-09650-8>
- Liu, Q., Sun, W., Wang, Y., Wang, J., & Che, X. (2024). Simulation of temperature distribution in double-row potato ridges mulched with plastic film covered with soil. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 17(4), 185-197. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20241704.8357>
- López-Martínez, A., Molina-Aiz, F. D., Moreno-Teruel, M. Á., Peña-Fernández, A., Baptista, F. J. F., & Valera-Martínez, D. L. (2021). Low tunnels inside Mediterranean greenhouses: Effects on air/soil temperature and humidity. *Agronomy*, 11(10), 1973. <https://doi.org/10.3390/agronomy11101973>
- Molina, A. F. (2005). *Efecto de acolchados plásticos y micro túneles de tela no tejida de polipropileno en la producción de tomate orgánico en época seca en Zamorano* [Tesis de licenciatura, Universidad Zamorano]. Repositorio Institucional Universidad Zamorano. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/c5636d59-18b6-499d-898c-4d9b32963cc9/content>
- Meng, C., Zhao, J., Wang, N., Yang, K., & Wang, F. (2022). Black plastic film mulching increases soil nitrous oxide emissions in arid potato fields. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(23), 16030. <https://doi.org/10.3390/ijerph192316030>
- Møllmann, J. A. B., & Johansen, T. J. (2025). Influence of growth temperature on development and yield in a medium late and a late Scandinavian cultivar of potato. *Potato Research*, 68, 2939-2950. <https://doi.org/10.1007/s11540-025-09854-0>
- Nasir, M. W., & Toth, Z. (2021). Response of different potato genotypes to drought stress. *Agriculture*, 11(8), 763. <https://doi.org/10.3390/agriculture11080763>
- Ortiz, O., & Mares, V. (2017). *The historical, social, and economic importance of the potato crop*. En S. K. Chakrabarti, C. Xie & J. Kumar Tiwari. (Eds.), *The potato genome* (pp.1-10). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-66135-3_1
- Pérez, E., Rafael-Rutte, R. R., y Osorio, G. (2024). Estrés hídrico en el crecimiento y rendimiento de cultivares comerciales de papa (*Solanum tuberosum* L.) en la región centro del Perú. *Journal of High Andean Research*, 26(1), 46-55. <https://doi.org/10.18271/ria.2024.587>
- Sahu, S.K. & Dubey, A. (2023). Effect of temperatura on horticultural crop and control technology. En M. M. Dhanoji & M. K. Meena. (Eds.), *Recent innovative updates in agricultural-horticultural sciences* (vol. 6, pp. xx-xx). AkiNik Publications.
- Scavo, A., Mauromicale, G., & Ierna, A. (2023). Genotype x environment interactions of potato tuber quality characteristics by AMMI and GGE biplot analysis. *Scientia Horticulturae*, 310, 111750. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111750>
- Shi, M., Kang, Y., Zhang, W., Yang, X., Fan, Y., Yu, H., Zhang, R., Guo, A., & Qin, S. (2022). Plastic film mulching with ridge planting alters soil chemical and biological properties to increase potato yields in semiarid Northwest China. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 9, 16. <https://doi.org/10.1186/s40538-022-00284-5>
- Šrećkov, Z., Vasić, V., Mišković, A., Vujasinović, V., Radišić, M., y Račić, G. (2025). Impact of sustainable agricultural practices on early potato yield components. *Sustainability*, 17(9), 4070. <https://doi.org/10.3390/su17094070>
- Tatarowska, B. E., Plich, J., Milczarek, D., Boguszewska-Mańkowska, D., y Zarzyńska, K. (2024). Genotype by environment interaction (GEI) Effect for potato tuber yield and their quality traits in organic multi-environment domains in Poland. *Agriculture*, 14(9), 1591. <https://doi.org/10.3390/agriculture14091591>
- Torres, E., & Arancibia, R. A. (2023, 9 de noviembre). Micro tunnels in vegetable crops: Beyond season extension (HORT-291; SPES-524P). Virginia Cooperative Extension. https://www.pubs.ext.vt.edu/content/dam/pubs_ext_vt.edu/HORT/hort-291/SPES-524.pdf
- Xiu, J., Wang, Y., Chen, Y., He, W., Li, X., & Cui, J. (2023). Identifying the influencing factors of plastic film mulching on improving the yield and water use efficiency of potato in the Northwest China. *Water*, 15(12), 2279. <https://doi.org/10.3390/w15122279>
- Yordanova, M., Petrova, V., & Kirilov, D. (2021). Evaluation of the different type of tunnels coverings applied at lettuce cultivation. *Scientific Papers. Series B, Horticulture*, 65(1), pp. 590-595. https://horticulturejournal.usamv.ro/pdf/2021/issue_1/Art80.pdf
- Zermeño-González, A., Clavería-Cigarrero, G. L., Melendres-Álvarez, A. I., Ramírez-Rodríguez, H., Munguía-López, J. P., Campos-Magaña, S. G., y Cadena-Zapata, M. (2019). La cubierta plástica y su relación con la radiación, crecimiento y rendimiento de un cultivo de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.). *Agrociencia*, 53(5), 709-723. <https://www.agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/1838>
- Zhang, Y., Feng, R., Nie, W., Wang, F., & Feng, S. (2020). Plastic film mulch performed better in improving heat conditions and drip irrigated potato growth in Northwest China than in Eastern China. *Water*, 12(10), 2906. <https://doi.org/10.3390/w12102906>
- Zhou, W., Wang, Q., Wei, Z., Jiang, J., & Deng, J. (2023). Effects of microplastic type on growth and physiology of soil crops: Implications for farmland yield and food quality. *Environmental Pollution*, 326, 121512. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121512>

- Zhou, B., Yuan, J., Liang, L., Zhang, F., & Wang, Y. (2025). Genotype × environment interactions for potato yield and quality traits: Identification of ideotypes adapted in different ecological regions of Northwest China. *BMC Plant Biology*, 25, 737. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06741-1>
- Zierer, W., Rüscher, D., Sonnewald, U., & Sonnewald, S. (2021). Tuber and tuberous root development. *Annual Review of Plant Biology*, 72, 551-580. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-080720-084456>
- Zinta, R., Tiwari, J. K., Buckseth, T., Thakur, K., Goutam, U., Kumar, D., Challam, C., Bhatia, N., Poonia, A. K., Naik, S., Singh, R. K., Thakur, A. K., Dalamu, D., Luthra, S. K., Kumar, V., & Kumar, M. (2022). Root system architecture for abiotic stress tolerance in potato: Lessons from plants. *Frontiers in Plant Science*, 13, 926214. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.926214>

Contribución de los autores

BLCR: jefa del proyecto, responsable de la supervisión y del monitoreo.
AJSA: responsable de la ejecución y la recolección de datos.
GSC: responsable de la redacción del artículo, de la asesoría estadística y del análisis e interpretación de datos.
MLTF: asesora de investigación.

Fuentes de financiamiento

La investigación se realizó con recursos propios de la Universidad de Huánuco y de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

Correspondencia:

Bertha Lucila Campos Ríos
E-mail: bertha.campos@udh.edu.pe