

## Fumigación con etanol como tratamiento para inhibir la brotación en papa criolla colombiana (*Solanum Phureja*)

Fumigation with Ethanol as a Treatment to Inhibit Sprouting in Colombian “Chaucha” Potato (*Solanum Phureja*)

 Gabriel Gamez-Rojas<sup>1</sup>;  Cristian Fuertes-Guerrero<sup>1</sup>;  Diego Mejía-España<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Nariño, Pasto-Colombia

Correspondencia: [gabrielgamezr@udenar.edu.co](mailto:gabrielgamezr@udenar.edu.co)

---

**Recibido:** 8 Octubre 2024

**Aceptado:** 11 Abril 2025

**Disponible:** 12 Junio 2025

---

### Cómo citar / How to cite

G. Gamez-Rojas, C. Fuertes-Guerrero, and D. Mejía-España, “Fumigación con etanol como tratamiento para inhibir la brotación en papa criolla colombiana (*Solanum Phureja*),” *Tecnológicas*, vol. 28, no. 63, e3278, 2025.

<https://doi.org/10.22430/22565337.3278>



### Resumen

La producción de papa es una actividad agrícola importante para la región andina colombiana, con variedades autóctonas, como la papa criolla (*Solanum phureja*), que presenta una escasa vida útil postcosecha debido a su rápida brotación, proceso mediante el cual el tubérculo comienza a generar nuevas yemas. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la fumigación con etanol como inhibidor de brotación en tubérculos de papa criolla almacenados durante 15 días en condiciones de laboratorio. La metodología consistió en aplicar diferentes concentraciones de etanol ( $100 \mu\text{L L}^{-1}$ ,  $250 \mu\text{L L}^{-1}$  y  $400 \mu\text{L L}^{-1}$ ) sobre muestras de papa. Se evaluaron dos estrategias de fumigación: una única aplicación al inicio del almacenamiento y una aplicación en dos fases, agregando una segunda dosis a los 7 días. Además, se analizó la influencia de la exposición a luz tenue y oscuridad. Se analizaron cinco variables de respuesta: índice de brotación, porcentaje de pérdida de peso, tasa de respiración, contenido de materia seca y contenido de glucosa. Los resultados evidenciaron que la fumigación con  $400 \mu\text{L L}^{-1}$  de etanol, aplicada en dos fases y en oscuridad, reduce el índice de brotación a 1,25 % con respecto al 82,8 % del testigo. La tasa de respiración indicó que el tratamiento con  $100 \mu\text{L L}^{-1}$  de etanol logra una reducción considerable ( $8,24 \text{ mgCO}_2 \text{ kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ ) frente al testigo ( $18,4 \text{ mgCO}_2 \text{ kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ ). El contenido de glucosa no presentó diferencia significativa entre los tratamientos ni con el testigo. Se concluye que la fumigación con etanol inhibe la brotación de la papa criolla, prolongando su dormancia en almacenamiento a temperatura ambiente, reduciendo la pérdida de peso de los tubérculos debido a la inhibición de la traslocación de nutrientes.

### Palabras clave

Conservación de alimentos, inhibición de crecimiento, método de aplicación, tecnología postcosecha, tubérculo.

## Abstract

Potato production is a key agricultural activity in the Colombian Andean region, with native varieties of "chaucha" potato (*Solanum phureja*), which has a short shelf life postharvest due to its accelerated sprouting, the process by which the tuber begins to generate new buds. This study aimed to evaluate the effect of ethanol fumigation as a sprouting inhibitor in Colombian "chaucha" potato tubers stored for 15 days under laboratory conditions. The results are intended to generate knowledge that contributes to strengthening the "chaucha" potato industry. The methodology involved applying different concentrations of ethanol ( $100 \mu\text{L L}^{-1}$ ,  $250 \mu\text{L L}^{-1}$  and  $400 \mu\text{L L}^{-1}$ ) to potato samples. Two fumigation strategies were assessed: a single application at the beginning of storage and a two-phase application, with a second dose added after seven days. The influence of exposure to dim light and darkness was analyzed. Five response variables were evaluated: sprouting index, weight loss percentage, respiration rate, dry matter content, and glucose content. The results showed that fumigation with  $400 \mu\text{L L}^{-1}$  of ethanol, applied in two phases and under dark conditions, reduced the sprouting index to 1.25 % compared to 82.8 % in the control group. The respiration rate indicated that the treatment with  $100 \mu\text{L L}^{-1}$  of ethanol achieved a significant reduction ( $8.24 \text{ mgCO}_2 \text{ kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ ) compared to the control ( $18.4 \text{ mgCO}_2 \text{ kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ ). The glucose content did not show any significant differences between treatments or with the control. It is concluded that ethanol fumigation inhibits sprouting in "chaucha" potatoes, prolonging their dormancy under ambient storage conditions, and reducing weight loss due to inhibition of nutrient translocation.

## Keywords

Food conservation, growth inhibition, application method, postharvest technology, tuber.

## 1. INTRODUCCIÓN

La producción de papa ha sido considerada una de las actividades agrícolas de mayor importancia en el mundo, catalogada como el cuarto alimento más consumido a nivel mundial, después del trigo, el maíz y el arroz [1], lo que la convierte en un pilar fundamental para la seguridad alimentaria. Actualmente, este cultivo se desarrolla en más de 164 países, con China liderando la producción mundial [2]. En Colombia, la papa es un producto esencial en las zonas de clima frío, que concentra el 90 % del área sembrada en cuatro departamentos: Cundinamarca (37 %), Boyacá (27 %), Nariño (20 %) y Antioquia (6 %) [2].

En Colombia se han identificado más de 250 variedades de papas nativas, de las cuales aproximadamente 160 se encuentran en Nariño. Estas variedades destacan por su diversidad en formas, colores, sabores y composición nutricional [3]. Además de su excelente calidad culinaria, la papa posee un alto contenido en materia seca, bajo nivel de azúcares reductores y una riqueza en fenoles, ubicándolas como la tercera fuente más importante después de la manzana y la naranja [4], [5]. Asimismo, aporta proteínas, vitaminas (C, B3 y B6) y otros compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes que contribuyen a la prevención de enfermedades degenerativas [6].

Sumado a sus beneficios nutricionales, la producción de papas nativas genera anualmente más de doscientos mil empleos en Colombia, beneficiando directamente a cerca de cien mil familias [7]. Sin embargo, las pérdidas postcosecha son un obstáculo para el almacenamiento a largo plazo de los tubérculos de papa nativa, especialmente en la variedad Criolla colombiana (*Solanum phureja*). Durante la producción, esta variedad enfrenta un desafío importante en la postcosecha: la rápida brotación, que ocurre entre 5 y 8 días después de la cosecha [8]. Este proceso fisiológico impacta negativamente en su disponibilidad para la comercialización e industrialización.

La brotación no solo deteriora la apariencia de los tubérculos, sino que también afecta negativamente las características nutricionales y de procesamiento de las papas, incluida la pérdida de peso acelerada, la removilización de almidón y proteínas y la generación de glicoalcaloides esteroides tóxicos. Por lo tanto, el control de la brotación de tubérculos es crucial para la industria de la papa [6], [9].

Para mitigar estos efectos, el control de la brotación en papa se ha convertido en una práctica clave dentro de los procesos postcosecha, particularmente durante el almacenamiento, donde los tubérculos son más propensos a desarrollar brotes en respuesta a

condiciones ambientales inadecuadas, como temperaturas elevadas y alta humedad relativa. En esta etapa, se implementan estrategias para minimizar las pérdidas de calidad y prolongar la vida útil del tubérculo.

Tradicionalmente, se han empleado diversas técnicas para inhibir la brotación, entre ellas: el almacenamiento en frío, que, si bien retrasa la brotación, puede inducir la acumulación de azúcares reductores glucosa y fructosa, lo que se conoce como endulzamiento por frío [10]. Además, debido a los altos costos y la falta de infraestructura asociada con el almacenamiento en frío, este método de almacenamiento a menudo no es la opción más viable [11], especialmente en países en desarrollo. También se usan ampliamente los inhibidores químicos, como el clorprofam (CIPC) y la maleico hidrazida, cuya efectividad ha sido demostrada [12], pero cuyo uso ha sido restringido por preocupaciones ambientales y de salud [13], [14].

Ante este panorama, en los últimos años se han propuesto metodologías alternativas para la inhibición de la brotación. Por ejemplo, se han ensayado recubrimientos naturales a base de aceites esenciales, un método más seguro para el consumo y el medioambiente y con un gran potencial para inhibir la germinación de la papa. Sin embargo, su implementación a gran escala aún es limitada; puesto que los aceites esenciales tienen alta volatilidad e inestabilidad, lo cual dificulta su aplicación, por lo que se están buscando alternativas que posibiliten este proceso [14]–[16]. Existen también algunas técnicas físicas, que prometen ser más seguras y efectivas que las antes mencionadas. Por ejemplo, la aplicación de radiación gamma, que logra excelentes resultados, pero que se ve aún más limitado en su aplicabilidad por los altos costos de su implementación [17].

Más recientemente, en la consecución de métodos alternativos para la inhibición de la brotación en papa, la fumigación con etanol ha emergido como una estrategia prometedora para el manejo postcosecha de tubérculos. Una investigación previa ha demostrado su eficacia en la reducción del verdeamiento y en la producción de glicoalcaloides en tubérculos de papas [18], y de manera sorpresiva, observaron también un efecto inhibidor sobre la brotación. Sin embargo, no se ha evaluado sólidamente el efecto sobre la inhibición de la brotación. Este vacío en la literatura científica resalta la necesidad de estudiar su impacto en esta variable clave, considerando que el etanol es una sustancia segura, no contaminante y de fácil acceso, lo cual podría proveer una solución rentable, óptima y segura para la preservación de la papa criolla.

En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar la eficacia de la fumigación con etanol para controlar la brotación en papas nativas (*Solanum phureja*) durante el almacenamiento. Para ello, se analizó su impacto en variables fisicoquímicas como el índice de brotación, la pérdida de peso, la tasa de respiración, el contenido de materia seca y el contenido de glucosa, con el fin de determinar su viabilidad como alternativa de conservación postcosecha. Los resultados de esta investigación podrían aportar nuevos conocimientos sobre el uso del etanol en la postcosecha de papa y contribuir al desarrollo de estrategias más sostenibles y eficientes en la prolongación de su vida útil.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Acondicionamiento de materia prima

Las muestras de papa nativa (*Solanum phureja*) se obtuvieron de las zonas de venta de la ciudad de Pasto (Nariño), estas se seleccionaron de acuerdo con la Norma Técnica Colombiana 34 [19]. Las papas se lavaron para retirar impurezas; después, se rotularon con marcador de tinta permanente teniendo en cuenta el número de papa, tipo de tratamiento y la dosis que se le aplicó.

## 2.2 Adecuación de zona de almacenamiento

Se acondicionó la zona de almacenamiento según la metodología descrita por [15] con algunas modificaciones de acuerdo con las condiciones del proceso. Se utilizaron contenedores herméticos de poliestireno expandido con una capacidad volumétrica de 21 L, estos debían estar limpios y desinfectados por el interior.

## 2.3 Tratamiento de fumigación con etanol

Se realizó la fumigación con etanol según el método descrito por [18], con ciertas modificaciones que incluyen cambios en las concentraciones de etanol para evitar daños en los tubérculos. En cada contenedor de 21 L se colocaron 12 tubérculos de papa alrededor de un beaker con una pieza de gasa estéril impregnada con etanol. Se evaluaron tres concentraciones de etanol:  $100 \mu\text{L L}^{-1}$ ,  $250 \mu\text{L L}^{-1}$  y  $400 \mu\text{L L}^{-1}$ , las unidades de concentración están establecidas en microlitros de etanol por litro de volumen de cabeza en el recipiente. Se evaluaron dos fases de aplicación del etanol: el tratamiento monofásico correspondió a la aplicación de una sola dosis en el primer día de almacenamiento. El tratamiento bifásico consistió en aplicar una segunda dosis de etanol a la mitad del tiempo de almacenamiento. Por último, se evaluaron dos posibles ambientes de exposición a la luz: luz tenue y ambiente oscuro, midiendo los niveles de luminosidad con un luxómetro (UT383BT). En el ambiente oscuro se mantuvo un rango de  $3 \pm 2$  lux, mientras que, en el ambiente de luz tenue, la luminosidad fue de  $9 \pm 2$  lux, durante los 15 días de almacenamiento de los tubérculos.

## 2.4 Control experimental

Se implementaron muestras testigo que consistieron en tubérculos almacenados bajo las mismas condiciones que las muestras tratadas (luz tenue y ambiente oscuro por 15 días), pero sin la aplicación de etanol. El objetivo de estas muestras testigo fue evaluar el comportamiento natural de las papas en ausencia del tratamiento. De esta manera, se pudo analizar la influencia del etanol en las variables de respuesta.

## 2.5 Medición del índice de brotación (IB)

Se realizó según la metodología propuesta por [15]. Para ello, se hizo un conteo manual de ojos y brotes de cada muestra de papa, tomando como significativos aquellos brotes mayores a 2 mm de longitud. Este registro se realizó al final del almacenamiento (15 días) para cada uno de los tubérculos empleados, asegurando así 12 repeticiones. El índice de brotación (IB) se calculó con (1).

$$IB(\%) = \frac{n_0}{n} \cdot 100 \quad (1)$$

Donde  $n_0$  es el número de ojos en el tubérculo desarrollando brotes y  $n$  el número total de ojos en el tubérculo.

## 2.6 Medición de pérdida de peso (PP)

Se midió el porcentaje de pérdida de peso empleando la metodología propuesta por [15]. Para ello, en cada instancia se registró el peso de cada tubérculo mediante una balanza analítica (Dune DCT-201). Esto se realizó al comienzo y al final del periodo de almacenamiento (15 días) para cada uno de los tubérculos empleados, asegurando así 12 repeticiones. Para el cálculo de la pérdida de peso se utilizó (2).

$$PP(\%) = \left( \frac{W_o - W_n}{W_o} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

Donde  $W_o$  es el peso del tubérculo de papa al primer día de almacenamiento y  $W_n$  es el peso del tubérculo de papa al final del periodo de almacenamiento.

## 2.7 Medición del contenido de materia seca (MS)

Se determinó el contenido de materia seca según la metodología descrita por [20]. Se cortaron las muestras de papa en rodajas finas y se colocaron aproximadamente 2 rodajas (5 g) en platos de aluminio que fueron dispuestos en una estufa (marca Memmert) después de haberse registrado el peso inicial (peso fresco). La estufa fue programada a 105°C durante 4 horas o hasta alcanzar un peso constante. Al finalizar el proceso, se registró el peso final de la muestra (peso seco) utilizando una balanza analítica (Precisa 520PB).

Con respecto al cálculo de la materia seca, se realizó al inicio del almacenamiento con muestras seleccionadas del mismo lote de las muestras a tratar, y al final del periodo de almacenamiento (15 días) con una muestra representativa de papas que estuvieron bajo tratamiento. Se realizaron 3 repeticiones por tratamiento para asegurar la fiabilidad de los datos. Esto se calculó utilizando (3).

$$MS(\%) = \left( \frac{\text{peso seco}}{\text{peso fresco}} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

## 2.8 Medición de contenido de glucosa (CG)

Se empleó la metodología propuesta por [20]. Primeramente, se preparó la solución de glucosa extraída de los tubérculos. Esta correspondió a una dilución 1:50 p/v de pulpa de papa macerada y agua destilada, respectivamente. El jugo de la papa se obtuvo a partir de un procesador de alimentos y de un mortero. Para la medición se utilizó un reflectómetro (RQflex 20) calibrado para el test de glucosa. En este se insertaron tiras de ensayo del sistema Reflectoquant, previamente inmersas por ambas caras de la muestra preparada, durante 15 segundos. El reflectómetro indicó el contenido de glucosa en mg/L en un intervalo de medida de 1-100 mg/L. Se realizaron tres repeticiones por tratamiento para asegurar la fiabilidad de los datos. Se estimó el contenido de glucosa en mg de glucosa por gramo de papa usando (4).

$$CG \left( \frac{mg}{g} \right) = \text{valor medición} \cdot \left( \frac{50}{\text{peso muestra}} \right) \quad (4)$$

Donde 50 es el factor de dilución del jugo extraído en agua destilada. El registro del contenido de glucosa se realizó al inicio y al final del almacenamiento.

## 2.9 Medición de tasa de respiración (TR)

Se realizó al inicio y al final del periodo de almacenamiento empleando la metodología descrita por [21]. Se seleccionaron muestras de papa de tamaño y peso homogéneos (12 papas aproximadamente) que no tuviesen desmejoras visibles, las cuales fueron manipuladas con guantes para minimizar la contaminación externa. Cada muestra fue pesada y colocada en contenedores de plástico de 1000 mL, los cuales fueron herméticamente sellados para evitar fugas de gases. Antes de iniciar la medición, los contenedores fueron estabilizados a temperatura ambiente ( $14 \pm 2$  °C) durante 30 minutos para asegurar condiciones uniformes.

El porcentaje de CO<sub>2</sub> se midió inicialmente (tiempo cero) utilizando un analizador digital (CO<sub>2</sub> Meter GC-2028). Posteriormente, tras una hora de almacenamiento, se realizó una

segunda medición del contenido de  $\text{CO}_2$ . Durante este periodo, los contenedores se mantuvieron en un ambiente controlado para minimizar variaciones de temperatura y humedad que pudieran afectar los resultados. Se realizaron tres repeticiones por tratamiento para garantizar la confiabilidad de los datos. La tasa de respiración se calculó utilizando (5).

$$TR \left( \frac{\text{mgCO}_2}{\text{kg} \cdot \text{h}} \right) = \frac{P \cdot Vg \cdot M \left( \frac{\% \text{CO}_2}{100} \right)}{R \cdot T \cdot t \cdot W} \cdot 1000 \quad (5)$$

Donde P es la presión atmosférica (atm), Vg es el volumen ocupado por el gas (volumen del frasco menos el volumen ocupado por las papas) (L), M es la masa molar del dióxido de carbono (44,01 g/mol),  $\% \text{CO}_2$  es la lectura del porcentaje de dióxido de carbono, R es la constante de los gases ideales (0,08206 L atm/mol K), T es la temperatura (K), W es el peso de la muestra (kg), t es el tiempo (horas), y 1000 el factor de conversión de gramos de  $\text{CO}_2$  a miligramos de  $\text{CO}_2$ .

## 2.10 Análisis estadístico

Las variables de respuesta (IB, PP, MS, CG y TR) fueron evaluadas mediante un análisis de varianza (ANOVA) y una comparación de medias múltiples utilizando la prueba LSD de Fisher con un nivel de confianza del 95 %. Para el análisis de los datos se empleó el software STATGRAPHICS Centurión versión 19.01.0002. El estudio se llevó a cabo bajo un diseño completamente aleatorizado con un arreglo factorial y dos réplicas, considerando como factores de estudio la concentración de etanol, las fases de aplicación y la exposición a la luz.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

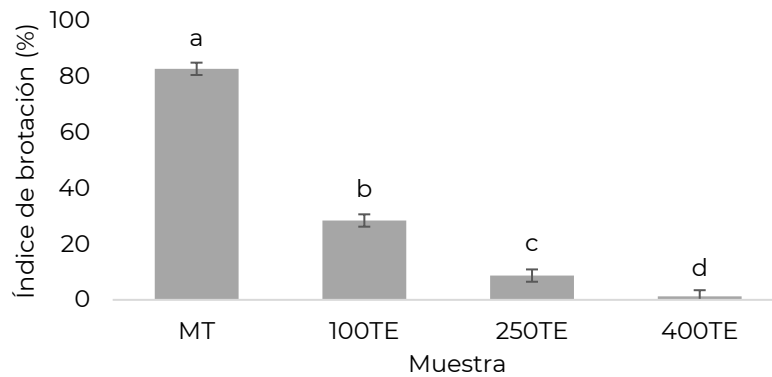
### 3.1 Efecto de la fumigación con etanol sobre el índice de brotación de papas criollas (*Solanum phureja*) en almacenamiento

El índice de brotación de todas las muestras tratadas con etanol fue significativamente inferior con respecto a las muestras testigo (MT). La concentración de etanol tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre el índice de brotación ( $p < 0,05$ ). El tratamiento 400TE mostró los mejores resultados en la inhibición de la brotación. A la culminación del periodo de almacenamiento de las muestras testigo, las muestras tratadas con  $100 \mu\text{L L}^{-1}$  (100TE),  $250 \mu\text{L L}^{-1}$  (250TE) y  $400 \mu\text{L L}^{-1}$  (400TE) presentaron un índice de brotación promedio de: 82,8 %, 28,4 %, 8,7 %, y 1,25 %, respectivamente (ver Figura 1).

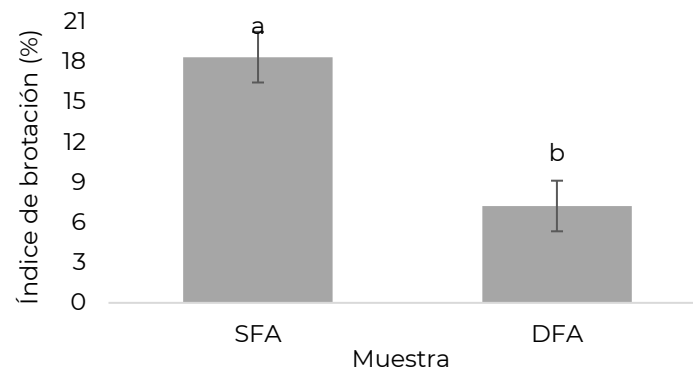
De igual forma, se observó que la fase de aplicación tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre el índice de brotación ( $p < 0,05$ ). Las papas tratadas con una doble fase de aplicación de etanol (DFA) tuvieron un índice de brotación menor que las tratadas con una sola fase de aplicación (SFA). El índice de brotación de las SFA y las DFA a los 15 días de almacenamiento fue de: 18,3 % y 7,2 % respectivamente (ver Figura 2).

La exposición a la luz también tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre esta variable de respuesta ( $p < 0,05$ ). Las muestras de papa sometidas a oscuridad tuvieron un índice de brotación de 10,0 %; mientras que, las muestras sometidas a luz tenue obtuvieron un promedio de brotación de 15,6 % (ver Figura 3).

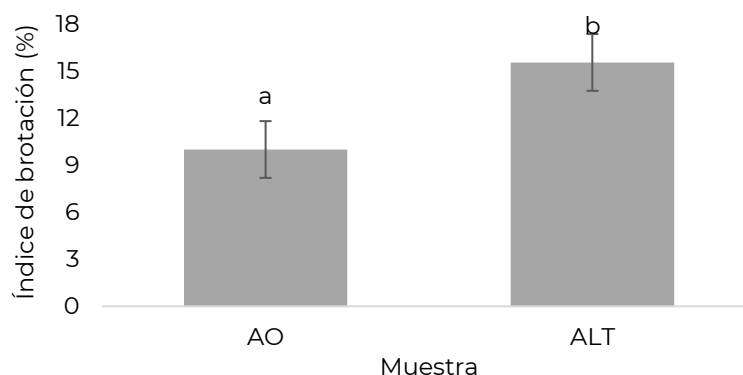
Los hallazgos obtenidos sugieren que la fumigación con etanol es una estrategia efectiva para inhibir la brotación en tubérculos de papa criolla durante un periodo de almacenamiento de 15 días. Se observa que la fumigación con una concentración de  $400 \mu\text{L L}^{-1}$  de etanol junto con la aplicación en dos fases y condiciones de oscuridad generan los mejores resultados en la reducción del índice brotación.



**Figura 1.** Influencia de la fumigación con diferentes concentraciones de etanol sobre el índice de brotación de papas criollas (*Solanum phureja*) en almacenamiento. MT: muestras testigo; 100TE: muestras tratadas con 100  $\mu\text{L L}^{-1}$  de etanol; 250TE: muestras tratadas con 250  $\mu\text{L L}^{-1}$  de etanol; 400TE: muestras tratadas con 400  $\mu\text{L L}^{-1}$  de etanol. Los datos representan el promedio de tres replicas  $\pm$  la desviación mínima de significancia. Diferentes letras en una misma gráfica indican que existe una diferencia significativa ( $p < 0,05$ ). Fuente: elaboración propia



**Figura 2.** Influencia de la fumigación con etanol en diferentes fases de aplicación sobre el índice de brotación de papas criollas (*Solanum phureja*) en almacenamiento. SFA: muestras tratadas con una sola fase de aplicación de etanol; DFA: muestras tratadas con doble fase de aplicación de etanol. Los datos representan el promedio de tres replicas  $\pm$  la desviación mínima de significancia. Diferentes letras en una misma gráfica indican que existe una diferencia significativa ( $p < 0,05$ ). Fuente: elaboración propia.



**Figura 3.** Influencia de la exposición a diferentes tipos de luz sobre el índice de brotación de papas criollas (*Solanum phureja*) en almacenamiento. AO: muestras sometidas un ambiente oscuro; ALT: muestras a un ambiente de luz tenue. Los datos representan el promedio de tres replicas  $\pm$  la desviación mínima de significancia. Diferentes letras en una misma gráfica indican que existe una diferencia significativa ( $p < 0,05$ ). Fuente: elaboración propia

La razón por la cual el etanol tiene la capacidad de inhibir la brotación es explicada por [22], citado por [18]. Los autores indicaron que el etanol puede difundirse a través de las membranas plasmáticas celulares, interactuando con los cloroplastos y dañando las membranas tilacoides, lo que reduce la fotosíntesis al disminuir la generación de clorofila. Este daño prolonga la dormancia del tubérculo e inhibe la formación de brotes como respuesta al estrés celular.

La investigación realizada por [23] destacó que durante este periodo de dormancia cesan considerablemente los procesos metabólicos relacionados con el crecimiento de los meristemos, evitando la brotación hasta que las condiciones sean favorables. No obstante, [18] advierten que concentraciones excesivamente altas de etanol pueden provocar muerte celular y acelerar la senescencia, comprometiendo la calidad del producto.

Si bien la investigación confirma la efectividad del etanol en la inhibición de la brotación de la papa criolla, existen otros factores determinantes en este proceso que no pudieron ser controlados bajo el sistema de almacenamiento propuesto. En particular, la temperatura y la humedad relativa, identificadas como variables clave en la brotación [24], [25], no pudieron mantenerse constantes debido a limitaciones logísticas. La ausencia de un monitoreo continuo de estas condiciones dificulta evaluar con precisión su interacción con la fumigación con etanol, lo que podría ocultar posibles efectos positivos o negativos en la inhibición de brotes. No obstante, se logró minimizar la influencia de estas variables al garantizar que todas las corridas experimentales se realizaran simultáneamente en un entorno con temperatura y humedad relativa conocidas.

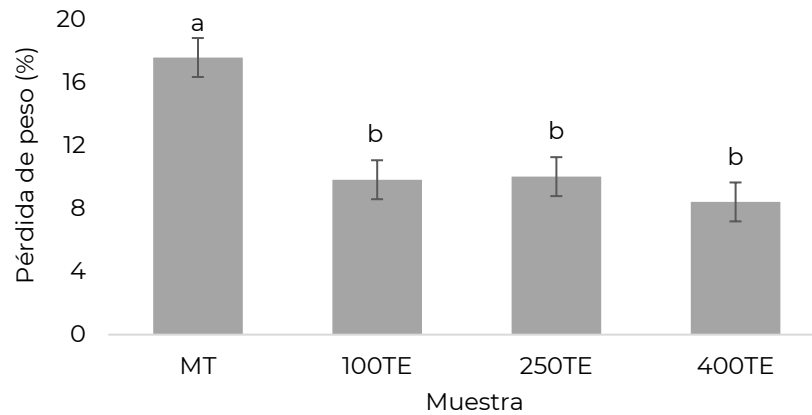
En la investigación realizada por [10], en la que se evaluaron en tubérculos de papa criolla (*Solanum phureja*) tres inhibidores comerciales de brotación, los cuales fueron chlorpropham (CIPC), paclobutrazol (PAC) y trinexapac-etil, se observó que las dosis más altas de CIPC y trinexapac-etil lograron inhibir completamente la brotación durante los primeros 10 días. Sin embargo, a partir del día 20, el porcentaje de brotación aumentó entre un 23 % y un 40 %. Los resultados obtenidos en la presente investigación muestran un comportamiento similar, ya que, aunque la brotación no fue completamente suprimida, a los 15 días de almacenamiento la dosis más baja de etanol logró mantener el porcentaje de brotación por debajo del 30 %.

### **3.2 Efecto de la fumigación con etanol sobre el porcentaje de pérdida de peso de papas criollas (*Solanum phureja*) en almacenamiento**

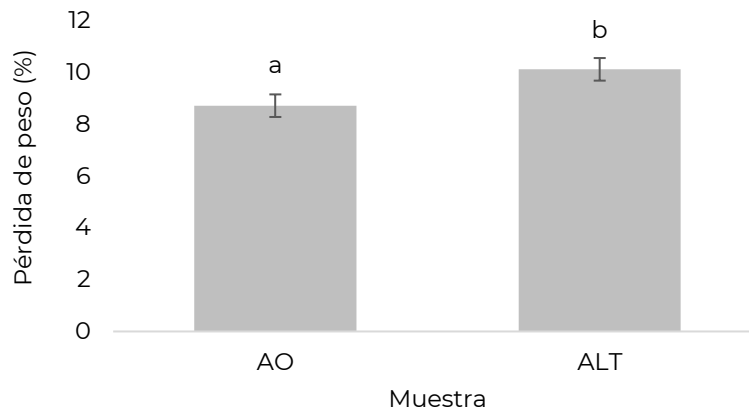
El porcentaje de pérdida de peso de todas las muestras tratadas con etanol fue significativamente inferior con respecto a la muestra testigo (ver Figura 4). Sin embargo, ninguna de las concentraciones de etanol tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre el porcentaje de pérdida de peso, ya que no hubo diferencia significativa entre las muestras tratadas con 100  $\mu\text{L L}^{-1}$ , 250  $\mu\text{L L}^{-1}$  o 400  $\mu\text{L L}^{-1}$  de etanol.

El único factor cuyos niveles incidían de forma estadísticamente significativa sobre esta variable de respuesta fue el ambiente de exposición a la luz ( $p < 0,05$ ). Se observó menor pérdida de peso en las muestras conservadas en un ambiente oscuro (ver Figura 5). Los resultados sugieren que la fumigación con etanol no solo inhibe la brotación en tubérculos de papa criolla, sino que también reduce significativamente la pérdida de peso durante el almacenamiento, independientemente de la concentración y de la fase de aplicación. Dado que la pérdida de peso está directamente relacionada con la transpiración y la respiración del tubérculo, este tratamiento puede contribuir a la preservación de la calidad nutricional y comercial del producto.

El autor de la investigación [26] comenta que la pérdida de peso es la causa principal del deterioro de los alimentos frescos. La disminución del peso es la suma de las pérdidas de sustratos por respiración y de agua por transpiración. Además, la pérdida de peso conduce al detrimento de la calidad del producto representado en una mala apariencia (arrugamiento) y textura (ablandamiento). [27] indican que la pérdida de peso en papa está correlacionada positivamente con el crecimiento de los brotes, puesto que, para la formación de un brote es necesario la traslocación de nutrientes que están en la fracción seca del tubérculo.



**Figura 4.** Influencia de la fumigación con diferentes concentraciones de etanol sobre el porcentaje de pérdida de peso de papas criollas (*Solanum phureja*) en almacenamiento. MT: muestras testigo; 100TE: muestras tratadas con 100  $\mu\text{L L}^{-1}$  de etanol; 250TE: muestras tratadas con 250  $\mu\text{L L}^{-1}$  de etanol; 400TE: muestras tratadas con 400  $\mu\text{L L}^{-1}$  de etanol. Los datos representan el promedio de tres replicas  $\pm$  la desviación mínima de significancia. Diferentes letras en una misma gráfica indican que existe una diferencia significativa ( $p < 0,05$ ). Fuente: elaboración propia.



**Figura 5.** Influencia de la exposición a diferentes tipos de luz sobre el porcentaje de pérdida de peso de papas criollas (*Solanum phureja*) en almacenamiento. AO: muestras sometidas un ambiente oscuro; ALT: muestras a un ambiente de luz tenue. Los datos representan el promedio de tres replicas  $\pm$  la desviación mínima de significancia. Diferentes letras en una misma gráfica indican que existe una diferencia significativa ( $p < 0,05$ ). Fuente: elaboración propia.

Esta traslocación es energéticamente dependiente, lo que aumenta también la tasa de respiración y transpiración. Por esta razón, como la fumigación con etanol tiene un efecto inhibitor sobre la brotación de tubérculos de papa criolla, ocasiona también una considerable reducción de la pérdida de peso; y consecuentemente, favorece la preservación de la calidad nutricional y comercial del producto.

La investigación de [10] evaluó el efecto de tres inhibidores comerciales de brotación sobre la pérdida de peso en los tubérculos, señalando que la mayor reducción de peso ocurre a los 15 días posteriores a la cosecha, cuando los tubérculos alcanzan el climaterio, incrementando la tasa respiratoria y acelerando el consumo de reservas energéticas. No obstante, estos inhibidores no mostraron una reducción significativa en comparación con las muestras sin tratamiento. De manera similar, en [15] emplearon aceite esencial de citronela para inhibir la brotación en tubérculos de papa (*Solanum tuberosum*), sin lograr una disminución significativa en la pérdida de peso tras 45 días de almacenamiento, incluso cuando aplicaron una doble fase de tratamiento, similar a la propuesta en esta investigación. En contraste, el tratamiento con etanol sí logró reducir significativamente la pérdida de peso tras 15 días de

almacenamiento, evidenciando su potencial como alternativa efectiva para la conservación postcosecha.

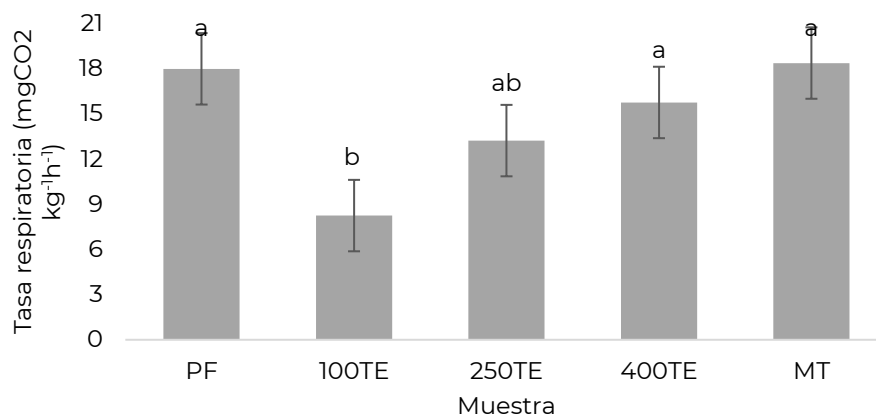
Aunado a esto, los resultados de esta investigación indican que el almacenamiento del tubérculo en condiciones de oscuridad o baja exposición a luz favorecen el efecto inhibitor del etanol sobre el índice de brotación; y consecuentemente, reducen la pérdida de peso en papa criolla. Los autores de la investigación [28] indican que la disminución en la pérdida de peso de tubérculos almacenados en oscuridad puede atribuirse a la disminución de la tasa de respiración, como consecuencia de la ausente energía térmica de la luz.

No obstante, algunos autores comentan que almacenar la papa en un ambiente plenamente oscuro puede tener un efecto adverso, debido a que se sobre estimula la formación de brotes largos pero poco resistentes, esto en un almacenamiento prolongado [25], [28], [29]. Estas investigaciones recomiendan que la papa sea almacenada en condiciones de luz difusa, para evitar la formación excesiva de brotes, tanto como el verdeamiento que se ocasiona cuando se expone el tubérculo a luz directa.

### 3.3 Efecto de la fumigación con etanol sobre la tasa de respiración de papas criollas (*Solanum phureja*) en almacenamiento

La tasa de respiración es un parámetro bioquímico estrechamente relacionado con la brotación y pérdida de calidad en papa de consumo. La brotación causa un marcado aumento en el rango de respiración. Consecuentemente, a mayor respiración, mayores serán las pérdidas de peso del producto almacenado [24]. La intensidad respiratoria de los tubérculos depende de diversos factores internos y ambientales. Condiciones inapropiadas de temperatura, humedad relativa, exposición a la luz y concentraciones de CO<sub>2</sub> ocasionarán cambios en la tasa de respiración de las papas.

Los resultados indican que el único factor que incide significativamente ( $p < 0,05$ ) en la tasa de respiración de las papas almacenadas es la concentración de etanol (ver Figura 3). Sin embargo, se observa que solamente las muestras tratadas con 100  $\mu\text{L L}^{-1}$  de etanol logran una reducción considerable (8,24  $\text{mgCO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) frente a las muestras testigo (18,4  $\text{mgCO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ). La tasa de respiración de las muestras testigo, de las muestras de papa tratadas con 250  $\mu\text{L L}^{-1}$  y 400  $\mu\text{L L}^{-1}$  de etanol, y de las muestras de producto fresco (PF), son estadísticamente similares (ver Figura 6).



**Figura 6.** Influencia de la fumigación con diferentes concentraciones de etanol sobre la tasa respiratoria de papas criollas (*Solanum phureja*) en almacenamiento. PF: muestras de producto fresco; 100TE: muestras tratadas con 100  $\mu\text{L L}^{-1}$  de etanol; 250TE: muestras tratadas con 250  $\mu\text{L L}^{-1}$  de etanol; 400TE: muestras tratadas con 400  $\mu\text{L L}^{-1}$  de etanol; MT: muestras testigo. Los datos representan el promedio de tres replicas  $\pm$  la desviación mínima de significancia. Diferentes letras en una misma gráfica indican que existe una diferencia significativa ( $p < 0,05$ ). Fuente: elaboración propia.

Durante la brotación, la tasa respiratoria de tubérculo aumenta radicalmente debido a la necesidad de metabolizar sustratos como el almidón y las proteínas, para generar energía y conducir nutrientes a los meristemos que desarrollan brotes. Durante la respiración también se pierde un considerable porcentaje del peso húmedo de la papa, por la formación de un gradiente de flujo de agua desde el interior del tubérculo hacia el exterior, consecuencia de la reducción de la humedad relativa del aire por el calor producido en la respiración [27].

Los resultados obtenidos contrastan con estas observaciones. Se supone que aquellas muestras de papa tratadas con etanol que tuvieron un menor índice de brotación deberían tener también una menor tasa de respiración, debido a la reducción significativa de la intensidad respiratoria que hay durante el tiempo de dormancia del tubérculo [23]. Sin embargo, las papas tratadas con  $100 \mu\text{L L}^{-1}$  de etanol, que tuvieron un índice de brotación estadísticamente superior frente a los demás tratamientos, tienen la menor tasa de respiración.

La razón de esto puede concederse a las posibles afectaciones a nivel celular ocasionadas por la concentración de etanol, las cuales no son apreciables superficialmente, pero que podrían generar bastante estrés en el tubérculo. Los autores de la investigación [30] indican que el daño celular en los productos hortícolas a menudo conduce a un aumento de la frecuencia respiratoria. Este fenómeno ocurre cuando las células intentan repararse y mantener funciones metabólicas. Esto desencadena un aumento de la respiración a medida que las células consumen más oxígeno para producir la energía necesaria para los mecanismos de reparación y gestionar el estrés inducido por el daño. Esto implicaría también el aumento en la concentración ambiental de dióxido de carbono y el agotamiento del oxígeno en ambientes donde no hay circulación de aire, lo que suscitaría afectaciones de otro tipo en el tubérculo, como la pudrición del alimento por la fermentación derivada de la respiración celular anaeróbica [27], [29].

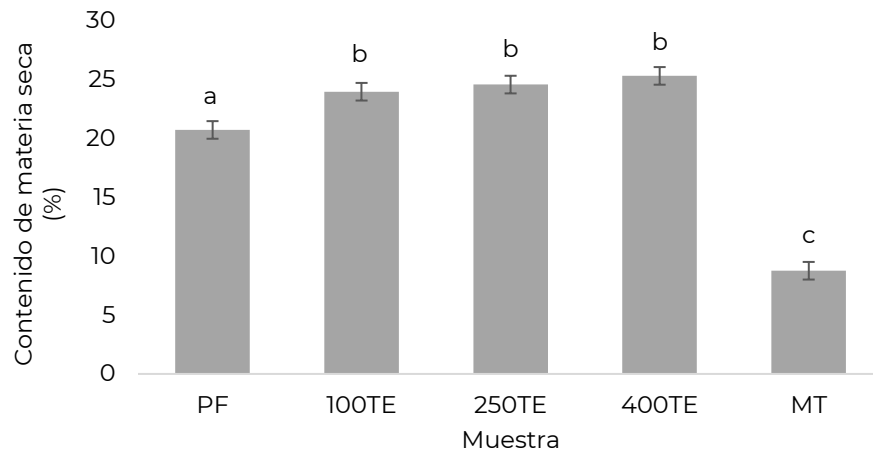
### **3.4 Efecto de la fumigación con etanol sobre el contenido de materia seca de papas criollas (*Solanum phureja*) en almacenamiento**

El contenido de materia seca en tubérculos de papa hace referencia al peso restante tras extraer toda el agua posible a través de un calentamiento controlado [20]. El agua es el componente principal del tubérculo de papa; dependiendo de la variedad, una papa puede contener hasta un 90 % de su peso en agua [24]. En la variedad papa criolla (*Solanum phureja*) el contenido de materia seca del producto fresco esta entre 15 % y 22 % [31].

Los resultados demuestran que la materia seca de todas las muestras tratadas con etanol fue significativamente superior (ver Figura 7) con respecto a las muestras de producto fresco. Sin embargo, los diferentes niveles de concentración de etanol no tuvieron un efecto estadísticamente significativo sobre este parámetro ( $p < 0,05$ ). No hubo diferencia significativa entre las muestras tratadas con  $100 \mu\text{L L}^{-1}$ ,  $250 \mu\text{L L}^{-1}$  o  $400 \mu\text{L L}^{-1}$  de etanol. Adicionalmente, el contenido de materia seca en las muestras testigo fue significativamente menor frente a todas las muestras tratadas con etanol, e incluso menor al contenido de materia seca de las muestras de producto fresco.

El contenido de materia seca está positivamente correlacionado con la tasa de respiración del tubérculo. La fracción seca aumenta conforme la fracción húmeda de la papa disminuye y esta reduce significativamente debido a los procesos de respiración y transpiración; asimismo, esto representa pérdida de peso seco y húmedo en la papa.

Tal como fue mencionado con anterioridad, la intensidad respiratoria está estrechamente relacionada con la brotación, pues durante la brotación el tubérculo aumenta sus requerimientos energéticos, ocasionando una marcada elevación de su tasa respiratoria. Por tanto, se infiere que, si el índice de brotación del tubérculo disminuye considerablemente por efecto del tratamiento con etanol, también debe disminuir la intensidad respiratoria; y consecuentemente, reducir la pérdida de peso, lo que permitiría que la papa conserve un contenido de materia seca similar al del producto fresco.



**Figura 7.** Influencia de la fumigación con diferentes concentraciones de etanol sobre el contenido de materia seca de papas criollas (*Solanum phureja*) en almacenamiento. PF: muestras de producto fresco; 100TE: muestras tratadas con 100  $\mu\text{L L}^{-1}$  de etanol; 250TE: muestras tratadas con 250  $\mu\text{L L}^{-1}$  de etanol; 400TE: muestras tratadas con 400  $\mu\text{L L}^{-1}$  de etanol; MT: muestras testigo. Los datos representan el promedio de tres replicas  $\pm$  la desviación mínima de significancia. Diferentes letras en una misma gráfica indican que existe una diferencia significativa ( $p < 0,05$ ). Fuente: elaboración propia.

Sin embargo, investigaciones como la de [32], indican que durante la brotación de los tubérculos de papa, el contenido de materia seca disminuye debido a la movilización de los carbohidratos almacenados. Esta movilización es esencial para proporcionar energía y nutrientes a los brotes en desarrollo. El principal componente que es degradado es el almidón, resultando en la acumulación de azúcares simples en las yemas del tubérculo que desarrollan brotes. Esta descomposición y transferencia de carbohidratos resulta en una reducción del contenido de materia seca del tubérculo.

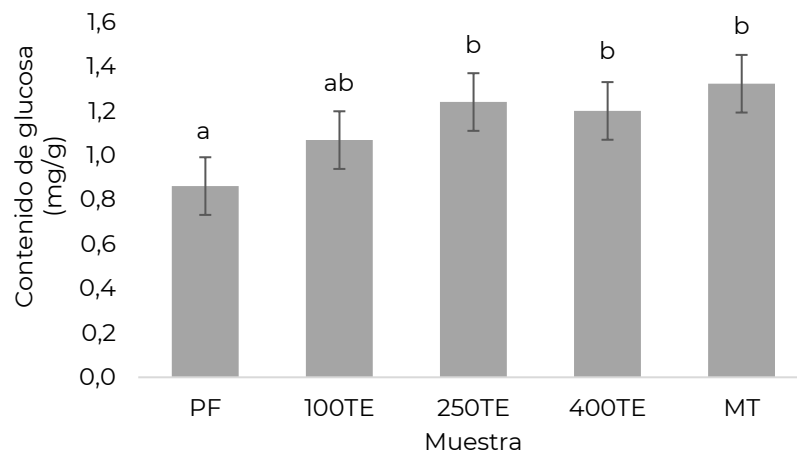
Los resultados obtenidos concuerdan con estas dos observaciones. Las muestras de papa criolla tratadas con etanol, independientemente de la concentración, mostraron un aumento en el contenido de materia seca que es estadísticamente significativo frente a las muestras de producto fresco, aunque promedian un aumento de solo 4 %. Este aumento en el contenido de materia seca deriva de la pérdida de peso húmedo consecuente al aumento de la tasa de respiración de los tubérculos, que antes fue mencionada.

Adicionalmente, al comparar las muestras tratadas con etanol frente a las muestras testigo, estas últimas presentan una notable disminución del contenido de materia seca, siendo aún menor que el contenido seco en producto fresco. Esto está relacionado con el efecto inhibitor del etanol en los tubérculos de papa. El tubérculo tratado con etanol no movilizó carbohidratos hacia los brotes, pues el crecimiento de estos fue inhibido. Mientras que las muestras testigo, que presentaron una brotación significativa, debieron agotar el contenido de materia seca para movilizar carbohidratos a los brotes nacientes.

Por esta razón, aunque el aumento en el contenido de materia seca en las muestras de papa criolla tratadas con etanol sugiere una pérdida de peso húmedo, el porcentaje total de pérdida de peso en estos tubérculos fue significativamente menor en comparación con las muestras testigo. Además, dado que no se observó una reducción en el contenido de materia seca en los tubérculos tratados, se puede inferir que su consistencia, textura y harinosidad se mantendrán en condiciones óptimas para su aprovechamiento y procesamiento industrial. En este sentido, los resultados obtenidos coinciden con los reportados por [10], donde los inhibidores comerciales permitieron conservar un excelente contenido de materia seca.

### 3.5 Efecto de la fumigación con etanol sobre el contenido de Glucosa de papas criollas (*Solanum phureja*) en almacenamiento

Los resultados indican que el contenido de glucosa en muestras de papa tratadas con 250  $\mu\text{L L}^{-1}$  y 400  $\mu\text{L L}^{-1}$  de etanol, tras 15 días de almacenamiento, es significativamente superior frente al contenido de glucosa de muestras de producto fresco (ver Figura 8). Mientras que, el contenido de glucosa de las muestras testigo, tras 15 días de almacenamiento, es estadísticamente similar al contenido de glucosa de las muestras de papa tratadas con 250  $\mu\text{L L}^{-1}$  y 400  $\mu\text{L L}^{-1}$  de etanol. Adicionalmente, no hay diferencia estadísticamente significativa entre las muestras tratadas con 100  $\mu\text{L L}^{-1}$  de etanol y las muestras de producto fresco ( $p < 0,05$ ). Por otro lado, ninguno de los otros dos factores influyó significativamente sobre el contenido de glucosa en los tubérculos de papa.



**Figura 8.** Influencia de la fumigación con diferentes concentraciones de etanol sobre el contenido de glucosa de papas criollas (*Solanum phureja*) en almacenamiento. PF: muestras de producto fresco; 100TE: muestras tratadas con 100  $\mu\text{L L}^{-1}$  de etanol; 250TE: muestras tratadas con 250  $\mu\text{L L}^{-1}$  de etanol; 400TE: muestras tratadas con 400  $\mu\text{L L}^{-1}$  de etanol; MT: muestras testigo. Los datos representan el promedio de tres replicas  $\pm$  la desviación mínima de significancia. Diferentes letras en una misma gráfica indican que existe una diferencia significativa ( $p < 0,05$ ). Fuente: elaboración propia.

La glucosa es la unidad constituyente del almidón y de la celulosa en tubérculos de papa. Este monosacárido cumple una función especial en varios procesos biológicos, por esta razón es el azúcar reductor más abundante en la fracción seca de papa [20]. Además es la principal reserva energética que tiene la papa [33]. El almidón, mediante diversos procesos fisiológicos, se hidroliza para obtener azúcares reductores que tienen el objetivo de servir como un sustrato respiratorio. De esta metabolización del almidón se obtienen dos azúcares reductores muy importantes: la glucosa y la fructosa [25].

Diversos estudios han demostrado que la metabolización de carbohidratos tiene una estrecha relación con la brotación del tubérculo, ya que se relacionan con la expresión de genes implicados en la germinación [34]. El estudio realizado por [32] reporta que la acumulación de azúcares solubles (como la glucosa) en tubérculos que están desarrollando brotes es considerablemente mayor que en tubérculos que han sido tratados con algún tipo de inhibidor de la brotación.

Por esta razón, la estimación del contenido de glucosa en el tubérculo de papa puede ser una herramienta para observar la efectividad en la inhibición de la brotación que tiene el tratamiento con etanol. Se esperaría que los tubérculos tratados con etanol no aumenten considerablemente su contenido de glucosa, ya que no se necesita movilizar azúcares solubles a las zonas donde se forman los brotes. Sin embargo, los resultados demuestran que existe un aumento significativo del contenido de glucosa en las papas tratadas con etanol, frente al

contenido de glucosa en producto fresco. Esto puede deberse al aumento de la tasa respiratoria en los tubérculos tratados con etanol, fenómeno que fue reportado anteriormente. Al aumentar la intensidad respiratoria, aumenta la demanda metabólica de glucosa como sustrato energético para la respiración celular.

Es debido a esto que los resultados no reflejan una diferencia significativa entre el contenido de glucosa en los tubérculos tratados con etanol, frente a las muestras testigo. Ambos tienen un contenido de glucosa significativamente similar, aun cuando las muestras testigo están utilizando la glucosa disponible para desarrollar los procesos fisiológicos de brotación. En todo caso, la acumulación de glucosa en los tubérculos puede tener implicaciones durante el procesamiento, sobre todo durante la fritura, pues se observaría un mayor pardeamiento, algo que afectaría la percepción sensorial del producto [35].

#### 4. CONCLUSIONES

Este estudio ha demostrado que la fumigación con etanol es efectiva para inhibir la brotación de tubérculos de papa criolla colombiana (*Solanum phureja*) durante el almacenamiento postcosecha. Los tubérculos tratados lograron extender su período de dormancia, manteniéndose en almacenamiento a temperatura ambiente durante 15 días sin presentar brotación.

Adicionalmente, el tratamiento con etanol no solo logró resultados similares a los obtenidos con inhibidores comerciales en cuanto a la inhibición de brotación, sino que además presentó la ventaja de reducir significativamente la pérdida de peso durante el almacenamiento. Esta reducción se debe a la menor transpiración y a la inhibición de los procesos fisiológicos de traslocación de nutrientes, esenciales para la formación de brotes. La cuantificación del contenido de materia seca en los tubérculos tratados indica que la pérdida de peso húmedo y seco es mínima, lo que sugiere que la calidad del producto se mantiene en buenas condiciones para su comercialización y procesamiento.

Sin embargo, se identificaron algunas desventajas del tratamiento. En concentraciones más altas de etanol, se observó un aumento considerable en la tasa de respiración, lo que podría indicar un mayor estrés celular y afectar la estabilidad metabólica del tubérculo. Asimismo, el incremento significativo en el contenido de glucosa disponible podría representar un problema en el aprovechamiento del producto, ya que favorece el pardeamiento durante procesos térmicos como la fritura, afectando la calidad sensorial del producto final.

Se ha determinado que las condiciones óptimas para la fumigación con etanol incluyen una concentración de 400  $\mu\text{L L}^{-1}$ , la aplicación en doble fase (realizando una segunda fumigación a la mitad del período de almacenamiento) y el almacenamiento en ambientes oscuros.

Finalmente, el etanol se presenta como una alternativa viable para la conservación postcosecha, ya que es una sustancia segura, no contaminante, de fácil acceso y relativamente económica. No obstante, se recomienda que futuras investigaciones evalúen los efectos del tratamiento sobre la calidad sensorial del tubérculo y su impacto en procesos de transformación industrial, con el fin de optimizar su aplicación en la cadena productiva.

#### 5. AGRADECIMIENTO Y FINANCIACIÓN

Agradecemos a la Vicerrectoría de Investigación e Interacción Social de la Universidad de Nariño por la financiación del proyecto "Evaluación del efecto del almacenamiento con etanol, sobre algunas características fisicoquímicas y sensoriales de papas nativas (*Solanum* spp)", aprobado mediante acuerdo 166 de 16/10/2019.

## 6. REFERENCIAS

- [1] R. A. Diez Matallana, A. K. Celio Lay, N. V. Chirre Rivas, L. C. Pard Gonzales, and J. M. Gutiérrez-Marca, "Ventajas económicas de la biotecnología de recombinación genética en la producción de papa (*Solanum tuberosum*)," *Latam Rev. Lat. Cien. Soc. Human.*, vol. 5, no. 3, pp. 264–280, May. 2024. <https://doi.org/10.56712/latam.v5i3.2034>
- [2] Federación Colombiana de Productores de Papa, and Fondo Nacional de Fomento de la Papa, "Informe de Gestión vigencia 2023," Fedepapa, FNFP, Bogotá, Colombia. Accessed: Sep. 5, 2024. [Online]. Available: <https://fedepapa.com/wp-content/uploads/2024/07/INFORME-DE-GESTION-VIGENCIA-2023.pdf>
- [3] S. M. Otero-Chunga, "Elaboración y caracterización de películas biodegradables de almidones de papas nativas y coma de Tara," Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú, 2025. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/server/api/core/bitstreams/704e6c37-61dc-4114-97b8-4e8917f70534/content>
- [4] E. L. Pallo Paredes, A. P. Guapi Auquillas, and M. V. Mullo Paucar, "Agrobiodiversidad de papa nativa en la provincia de Tungurahua," *Siembra*, vol. 8, no. 1, p. e2273, Apr. 2020. <https://doi.org/10.29166/siembra.v8i1.2273>
- [5] M. del S. Cerón Lasso, "Efecto del ambiente sobre la capacidad antioxidante en genotipos de papa diploide (*Solanum tuberosum* Grupo Phureja)," Tesis doctoral, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, 2024. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/86700/27149153.2024.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- [6] Á. D. Natividad Bardales et al., "Caracterización fisicoquímica de cuatro variedades de papas nativas (*Solanum tuberosum*) con aptitud para fritura, cultivadas en dos zonas en Huánuco," *Rev. la Soc. Quím. Perú*, vol. 88, no. 3, pp. 237–250, Mar. 2023. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v88i3.400>
- [7] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, "Estrategia de ordenamiento la producción. Cadena productiva de la papa y su industria," Minagricultura, Bogotá, Colombia, 2019. Accessed: Sep. 5, 2024. [Online]. Available: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Papa/Normatividad/Plan%20de%20Ordenamiento%20papa%202019-2023.pdf>
- [8] M. Garnica Holguín, J. A. Suárez Cano, M. de S. Cerón Lasso, L. Prieto Contreras, J. Rodríguez Cortina, and I. Cusgüen Londoño, "Alternativas en el acondicionamiento y almacenamiento de los tubérculos de Papa Diploide (*Solanum phureja* Juz. et Buk.)," in *Papa nativa diploide: en busca de fortalecer el sistema productivo de Colombia*, Bogotá, Colombia: Editorial Grupo Compás, 2022, pp. 325–356. [https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/38036/Ver\\_Documento\\_38036.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/38036/Ver_Documento_38036.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [9] M. Zhang, W. Jiao, Q. Chen, M. Fu, and C. Han, "Integrative Phytohormone and Transcriptome Analyses Reveal the Inhibitory Mechanism of Ethylene on Potato Tuber Sprouting at Room Temperature," *Horticulturae*, vol. 10, no. 3, p. 286, Mar. 2024. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10030286>
- [10] M. del C. Toro Pantoja, "Evaluación del efecto de 3 inhibidores de brotación en papa criolla (*Solanum phureja*) variedad criolla colombia aplicados en el proceso de poscosecha," Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, 2015. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/56747>
- [11] N. Gumbo, L. Samukelo Magwaza, and N. Ziphorah Ngobese, "Evaluating ecologically acceptable sprout suppressants for enhancing dormancy and potato storability: A review," *Plants*, vol. 10, no. 11, p. 2307, Nov. 2021. <https://doi.org/10.3390/plants10112307>
- [12] F. E. De la Cruz Ramos, "Hidrázida Maleica en papa (*Solanum tuberosum* L), cultivares canchán y UNICA para la inhibición de brotamiento, en Santa Rita de Sigüas," Tesis de

- grado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú, 2022. <https://hdl.handle.net/20.500.12773/16161>
- [13] V. Paul, R. Ezekiel, and R. Pandey, "Sprout suppression on potato: need to look beyond CIPC for more effective and safer alternatives," *J. Food Sci. Technol.*, vol. 53, no. 1, pp. 1–18, Jan. 2016. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1980-3>
- [14] J. I. Flores Melendez, "Influencia del uso de inhibidores de brotación aplicados en diferentes concentraciones y tiempos de almacenamiento en la calidad de fritura del clon de papa (*Solanum tuberosum* L.) CIP 308478.59," Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú, 2023. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/6855>
- [15] B. Jia et al., "Effect of citronella essential oil fumigation on sprout suppression and quality of potato tubers during storage," *Food Chem.*, vol. 284, pp. 254–258, Jun. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.119>
- [16] W. Yixuan, Y. Lixue, C. Quingmin, X. Ye, and F. Maorun, "Sprout Suppression of Potato (*Solanum tuberosum*) Tubers Using Hydrogel for Prolonged Release of Citronella Essential Oil," *Food Bioprocess Technol.*, vol. 18, no. 2, pp. 1678–1691, Feb. 2025. <https://doi.org/10.1007/s11947-024-03550-6>
- [17] M. V. Sinche Serra, E. P. Anguisaca Totasig, and M. C. Cuesta Plúa, "Tratamiento postcosecha con radiación gamma para extender la vida útil de papa chaucha amarilla (*Solanum phureja*)," *ACI Av. Cienc. Ing.*, vol. 12, no. 3, p. 18, Apr. 2021. <https://doi.org/10.18272/aci.v12i3.2020>
- [18] T. Dong, W. Meng, J. Shi, C.-Z. Jiang, and Q. Wang, "Ethanol fumigation combined with and without nitrogen gas delays potato greening and inhibits glycoalkaloids generation under light," *Postharvest Biol. Technol.*, vol. 134, pp. 31–37, Dec. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.07.013>
- [19] Industria alimentaria papa para consumo. Especificaciones del empaque, NTC 341-2, ICONTEC, Bogotá, Colombia, 2001. [Online]. Available: [https://repositorio.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/16961/Ver\\_documento\\_16961.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/16961/Ver_documento_16961.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [20] D. F. Mejía-España, L. F. Valencia Flórez, L. I. Latorre Vásquez, and D. M. Trejo Escobar, "Manual de procedimientos para el análisis de calidad en tubérculos de papa," in *Manual de procedimientos para el análisis de Calidad en Tubérculos de Papa*, Pasto, Colombia: Universidad de Nariño, 2021. <https://sired.udenar.edu.co/7449/>
- [21] F. Gallo Pérez, "Temas base para las prácticas", in *Manual de fisiología, patología Post-Cosecha y control de calidad de frutas y hortalizas*, 2nd ed. Armenia, Colombia: Editorial Kinesis, 1997, pp. 311–312. <https://catalogo.uniquindio.edu.co/bib/28672>
- [22] G. Y. Sun, and A. Y. Sun, "Ethanol and Membrane Lipids," *Alcohol. Clin. Exp. Res.*, vol. 9, no. 2, pp. 164–180, Mar. 1985. <https://doi.org/10.1111/j.1530-0277.1985.tb05543.x>
- [23] L. E. Rodríguez, and L. P. Moreno, "Factores y mecanismos relacionados con la dormancia en tubérculos de papa. Una revisión" *Agron. Colomb.*, vol. 28, no. 2, pp. 189–197, May-Aug. 2010. <http://www.scielo.org.co/pdf/agc/v28n2/v28n2a08.pdf>
- [24] A. H. Vejarano Geldres, and C. G. Morales Skrabonja, "Almacenamiento de la semilla de papa bajo condiciones de luz difusa," *Pueblo Cont.*, vol. 25, no. 2, pp. 93–101, 2014. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:171678245>
- [25] Q. Hu et al., "Potatoes dormancy release and sprouting commencement: A review on current and future prospects," *Food Front.*, vol. 4, no. 3, pp. 1001–1018, Sep. 2023. <https://doi.org/10.1002/fft2.228>
- [26] A. A. Kader, "Postharvest Technology of Horticultural Crops - An Overview from Farm to Fork," *Ethiop. J. Appl. Sci. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–8, Jan. 2013. <https://journals.ju.edu.et/index.php/ejast/article/view/537>
- [27] F. J. Inestroza, and L. P. Méndez, "Almacenaje de papa," in *Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias*, Temuco, Chile: Instituto de Investigaciones

- Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Carillanca, 2009, pp. 87-106. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/7316>
- [28] E. Gachango, S. I. Shibairo, J. N. Kabira, G. N. Chemining, and P. Demo, "Effects of light intensity on quality of potato seed tubers," *J. Agric. Res.*, vol. 3, no. 10, pp. 732–739, Oct. 2008. <https://academicjournals.org/journal/AJAR/article-abstract/CCA39D729541>
- [29] M. A. Landivar Rodríguez, "Pérdida de peso y brotación de tubérculos de papa nativa y su relación con caracteres fenotípicos," Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú, 2022. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/5387>
- [30] A. M. Lafta, and K. Klotz Fugate, "Dehydration accelerates respiration in postharvest sugarbeet roots," *Postharvest Biol. Technol.*, vol. 54, no. 1, pp. 32–37, Oct. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.05.008>
- [31] C. Monteros, F. Yumisaca, J. Andrade-Piedra, and I. Reinoso, Eds., *Papas Nativas de la Sierra Centro y Norte del Ecuador: Catálogo etnobotánico, morfológico, agronómico y de calidad*, Quito, Ecuador: Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP)-Centro Internacional de la Papa (CIP), 2010. p. 144. [https://cipotato.org/wp-content/uploads/Documentacion%20PDF/catalogo\\_nativas\\_lseccion.pdf](https://cipotato.org/wp-content/uploads/Documentacion%20PDF/catalogo_nativas_lseccion.pdf)
- [32] B. Liu et al., "Differences between the bud end and stem end of potatoes in dry matter content, starch granule size, and carbohydrate metabolic gene expression at the growing and sprouting stages," *J. Agric. Food Chem.*, vol. 64, no. 5, pp. 1176–1184, Feb. 2016. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jafc.5b05238>
- [33] J. Hasbún, P. Esquivel, A. Brenes, and I. Alfaro, "Propiedades físico-químicas y parámetros de calidad para uso industrial de cuatro variedades de Papa," *Agron. Costarricense*, vol. 33, no. 1, pp. 77–89, 2009. <https://www.redalyc.org/pdf/436/436120540007.pdf>
- [34] S. Sonnewald, and U. Sonnewald, "Regulation of potato tuber sprouting," *Planta*, vol. 239, no. 1, pp. 27–38, Jan. 2014. <https://doi.org/10.1007/s00425-013-1968-z>
- [35] R. Grittle Pinhero, R. Coffin, and R. Y. Yada, "Postharvest Storage of Potatoes," in *Advances in Potato Chemistry and Technology*, J. Singh, and L. Kaur, Ed., Cambridge, USA: Academic Press, 2016, pp. 339–370. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374349-7.00012-X>

## CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existe conflicto de interés con respecto a la publicación de este trabajo de investigación.

## CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Gabriel Gamez-Rojas: diseño y desarrollo del experimento, recolección, análisis e interpretación de los datos y redacción inicial del manuscrito.

Cristian Fuertes-Guerrero: revisión del estado del arte, diseño metodológico y desarrollo del experimento, recolección de los datos y redacción inicial del manuscrito.

Diego Mejía-España: diseño metodológico, revisión crítica del contenido, supervisión general del proyecto, y corrección del manuscrito.

## DECLARACIÓN DE IA

Durante la realización de esta investigación, los autores utilizaron la herramienta CHATGPT de la empresa OpenAI para mejorar aspectos de la redacción y gramática del artículo. Luego de emplear esta herramienta, los autores revisaron y editaron cuidadosamente el contenido según sea necesario y asumen total responsabilidad por el contenido de la publicación.