

# Aplicación y efecto antioxidante del ácido gálico sobre la calidad de semillas de trigo

## Application and effect antioxidant of gallic acid on the quality of wheat seeds

Danúbia Aparecida Costa Nobre<sup>1,\*</sup>, Willian Rodrigues Macedo<sup>1</sup>, Geraldo Humberto Silva<sup>2</sup>, Lucas Santos Lopes<sup>3</sup> e Edgar Hernando Lizarazo Jaimes<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa, Rio Paranaíba-Minas Gerais, Brasil

<sup>2</sup>Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal de Viçosa, Rio Paranaíba-Minas Gerais, Brasil

<sup>3</sup>Comercial Agrícola Mineira, 30190-120 Belo Horizonte-Minas Gerais, Brasil

(\*E-mail: danubia\_nobre@yahoo.com.br)

<https://doi.org/10.19084/RCA18184>

Recebido/received: 2018.06.21

Aceptado/Accepted: 2018.09.24

### RESUMEN

El polifenol, ácido gálico (ácido 3,4,5-trihidroxibenzoico), es un compuesto con reconocida actividad antioxidante que reduce las especies reactivas del oxígeno (ERO) mediante mecanismos antiradicalarios o por quelación de metales. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto antioxidante y el procedimiento de aplicación del ácido gálico sobre la calidad de las semillas de trigo. Semillas de trigo 'BRS 264' fueron sometidas a cinco tratamientos de aplicación del ácido gálico, en cinco dosis diferentes. Las semillas fueron sometidas al test de envejecimiento acelerado y posteriormente fue evaluado: la germinación, primer conteo de germinación, longitud (parte aérea y raíz) y masa de las plántulas. Se utilizaron cuatro repeticiones de 50 semillas, analizados en un diseño factorial 5 × 5 (cinco procedimientos de aplicación y cinco dosis diferentes de ácido gálico). Los datos fueron analizados mediante el test de Shapiro-Wilk, análisis de varianza y la prueba LSD (5%). Dosis de 0,10; 1,00 y 10,00 mg L<sup>-1</sup> son recomendadas en los diferentes procedimientos de aplicación del ácido gálico. El ácido gálico posee actividad antioxidante con uso potencial en la agricultura; semillas de trigo embebidas en soluciones de este antioxidante, mostraron mayor germinación y vigor, incluso cuando fueron sometidas al envejecimiento acelerado.

**Palabras Clave:** Antioxidante, germinación, vigor, *Triticum aestivum*.

### ABSTRACT

The polyphenol, gallic acid (3,4,5-trihydroxybenzoic acid), is a compound with recognized antioxidant activity that reduces reactive oxygen species (ROS) by means of anti-radical mechanisms or by chelation of metals. The objective of this work was to evaluate the antioxidant effect and the application process of gallic acid in wheat seeds. Wheat seeds 'BRS 264' received five treatments of gallic acid application in five different doses. The seeds were submitted to the accelerated aging test and then the germination, first germination count, length (shoot and root) and seedling mass were evaluated. Four replicates of 50 seeds were used, analyzed in a 5 × 5 factorial scheme (five forms of application of gallic acid x five doses of the same). Data were submitted to the Shapiro-Wilk test, analysis of variance and test LSD (5%). Doses of 0.10; 1.00 and 10.00 mg L<sup>-1</sup> are recommended in the different forms of gallic acid application. Gallic acid has antioxidant action for use in agriculture; wheat seeds soaked in solution of this antioxidant, express greater germination and vigor, even when subjected to accelerated aging.

**Keywords:** Antioxidant, germination, vigor, *Triticum aestivum*.

## INTRODUCCIÓN

Para un mejor aprovechamiento productivo de los cultivos de trigo (*Triticum aestivum* L.), se destacan algunos aspectos de la utilización de semillas de alta calidad, principalmente, los relacionados con los componentes genéticos y fisiológicos (Fanan *et al.*, 2006).

La fisiología de semillas ha ganado importancia en el proceso germinativo porque envuelve complejos mecanismos de acción y biosíntesis de compuestos, ejemplo de ello es la formación continua de las especies reactivas de oxígeno (EROs) (Ferreira y Matsubara, 1997). Las EROs desempeñan un papel duplo, actuando como señalizadores celulares que sustentan y tornan viable la germinación, también están relacionadas con la dormición de las semillas y los efectos protectores contra patógenos, por otro lado, pueden actuar como productos tóxicos que se acumulan en condiciones de estrés o durante el envejecimiento de las semillas, favoreciendo la formación de plántulas anormales y la disminución en la germinación (Bailly *et al.*, 2008; Kumar *et al.*, 2015).

Durante el proceso germinativo las EROs pueden degradar la membrana lipídica, ocasionando la extravasación del contenido celular, promoviendo el descontrol del metabolismo y del intercambio de agua y de solutos entre las células y el exterior, con efectos directos sobre la calidad fisiológica de las semillas (Dias y Marcos Filho, 1996; Kumar *et al.*, 2015). Por consiguiente, son indispensables nuevos estudios para verificar la acción de los antioxidantes en la germinación y en el desarrollo inicial de las plántulas.

Las plantas presentan respuestas de defensa enzimáticas y no-enzimáticas contra el exceso de EROs, evitando los daños oxidativos mediante el secuestro o degradación de radicales libres y del peróxido de hidrógeno, los mecanismos enzimáticos incluyen enzimas de barrido de EROs como catalasa (CAT), superóxido dismutasa (SOD) y ascorbato peroxidasa (APX), los mecanismos no-enzimáticos involucran moléculas de bajo peso molecular como glutatión (GSH), ascorbato y carotenoides (Ratnam *et al.*, 2006; Serkedjieva, 2011).

Compuestos exógenos que presenten acción antioxidante pueden ser aplicados en semillas, con el fin de reducir la acción dañina de las EROs, manteniendo su acción homeostática en la planta. Entre los compuestos que presentan actividad antioxidante, los polifenoles, actúan a través de mecanismos antiradicalarios o como quelantes de metales, siendo el ácido gálico (ácido 3,4,5-trihidroxibenzoico) un excelente representante. Reportes científicos de la industria farmacéutica y alimenticia en diferentes investigaciones en la industria farmacéutica y alimenticia demuestran que el ácido gálico exhibe capacidad antioxidante, antiviral, antibacteriana, antifúngica y reduce los daños al ácido nucleico (Prince *et al.*, 2009; Verma *et al.*, 2013; Choubey *et al.*, 2015; Yao *et al.*, 2017).

También existen reportes del potencial alelopático de compuestos fenólicos, que muestran efectos benéficos o perjudiciales para la germinación de semillas, en función de su concentración (Li *et al.*, 2010; Yan *et al.*, 2010). Por consiguiente, el ácido gálico, se presenta como un producto con potencial para ser utilizado en la agricultura para el tratamiento de semillas.

El objetivo de este trabajo es evaluar el procedimiento de aplicación y el efecto antioxidante del ácido gálico sobre la calidad de las semillas de trigo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Producción de semillas y preparación de los tratamientos*

Semillas de trigo 'BRS 264', producidas en el año agrícola de 2016 en el Municipio de Rio Paranaíba, Minas Gerais y beneficiadas en la UBS de la Cooperativa Agropecuaria del Alto Paranaíba, (COOPADAP), fueron enviadas al Laboratorio de Fisiología y Metabolismo de Producción Vegetal de la Universidad Federal de Viçosa, Campus Rio Paranaíba/MG, Brasil. Las semillas de trigo fueron sanitizadas con hipoclorito de sodio al 2% durante dos minutos y sometidas a dosis del ácido gálico y diferentes procedimientos de aplicación del mismo antioxidante.

El compuesto ácido gálico, fue empleado en cinco dosis diferentes: control 0,0; 0,01; 0,10; 1,0 y 10,0 mg L<sup>-1</sup>. El proceso de aplicación de las dosis de ácido gálico fue realizado en cinco tratamientos: el ácido gálico fue aplicado directamente sobre el papel germitest® (1); semillas envejecidas (obtenidas por el test de envejecimiento acelerado) y posterior aplicación de ácido gálico directamente sobre el papel germitest® (2); semillas embebidas en ácido gálico por dos horas (3); semillas envejecidas y posteriormente embebidas en ácido gálico por dos horas (4) y semillas embebidas en ácido gálico por dos horas y envejecidas (5). Semillas embebidas en agua destilada fueron utilizadas como control.

#### *Test de envejecimiento acelerado*

Para la obtención de semillas por el test de envejecimiento acelerado se utilizaron cajas tipo "gerbox", con compartimiento individual, presentando en su interior una bandeja con tela de aluminio donde las semillas de trigo fueron distribuidas de manera uniforme. Dentro de cada compartimiento individual fueron adicionados 40 mL de agua destilada. Las cajas fueron mantenidas en cámara tipo Biochemical Oxygen Demand (B.O.D.), a 43 °C por un periodo de 48 horas (Marcos Filho, 1999).

#### *Test de germinación y vigor*

La germinación de las semillas de trigo fue determinada utilizando cuatro repeticiones de 50 semillas para cada tratamiento, en las diferentes dosis de ácido gálico. El papel germitest® fue humedecido utilizando diferentes dosis del ácido gálico en la proporción de 2,5 veces la masa seca del papel, para los dos tratamientos en que el ácido gálico fue aplicado sobre el papel. Para los dos tratamientos en los que las semillas de trigo fueron sumergidas en las dosis de ácido gálico (condicionamiento osmótico), el papel fue humedecido con agua destilada en la proporción de 2,5 veces la masa seca del papel.

Los rollos de papel fueron colocados en la cámara de germinación Mangelsdorf, regulada a una temperatura constante de 20 °C e fotoperiodo de 12-h, fueron realizadas evaluaciones en el cuarto

y octavo día después del inicio de cada test. Al final, fueron contadas las plántulas normales, anormales y semillas que no germinaron (semillas consideradas muertas), los resultados fueron expresados en porcentaje.

El test de vigor (primer conteo de germinación) fue realizado conjuntamente con el test de germinación, donde fue obtenido el número de plántulas normales, determinado por ocasión del primer conteo (Brasil, 2009). En el cuarto día después del inicio del test, fue medida la longitud de la parte aérea y de la raíz de 10 plántulas de trigo, escogidas aleatoriamente en cada repetición, por tratamiento. Posteriormente, fue determinada la masa de las plántulas utilizando una balanza de precisión analítica (0,001 g).

#### *Diseño y análisis estadístico*

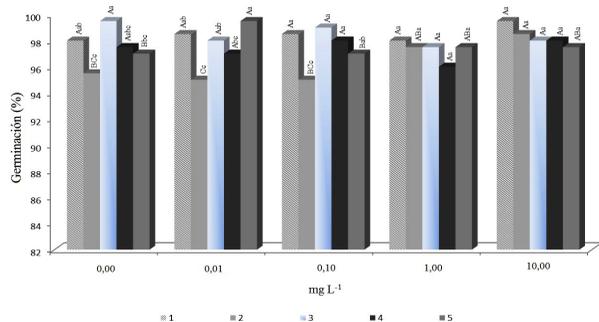
El delineamiento estadístico fue en un diseño completamente aleatorio, con cuatro repeticiones, en esquema factorial 5 x 5 (cinco procedimientos de aplicación del ácido gálico x cinco dosis del mismo). Los datos fueron evaluados por el test de Shapiro-Wilk para analizar la normalidad y sometidos al análisis de varianza y test de LSD, en un nivel de 5% de significancia, realizados con auxilio del software Sisvar (Ferreira, 2011).

## **RESULTADOS**

Los ensayos con semillas de trigo tratadas con diferentes dosis y procedimientos de aplicación del ácido gálico presentaron normalidad de los datos cuando aplicado el test de Shapiro-Wilk. Fue observada una interacción significativa por el test LSD (5%), para las diferentes variables evaluadas, con excepción de las semillas consideradas muertas, que no presentó ninguna significancia.

#### *Germinación de semillas*

Para la germinación de semillas de trigo (Figura 1), se observó, que entre las diferentes dosis de ácido gálico, cuando las semillas fueron sometidas al envejecimiento acelerado seguido de la aplicación del antioxidante sobre el papel



**Figura 1** - Resultados medios de germinación (%), provenientes de semillas de trigo sometidas a diferentes dosis de ácido gálico y procedimientos de aplicación.

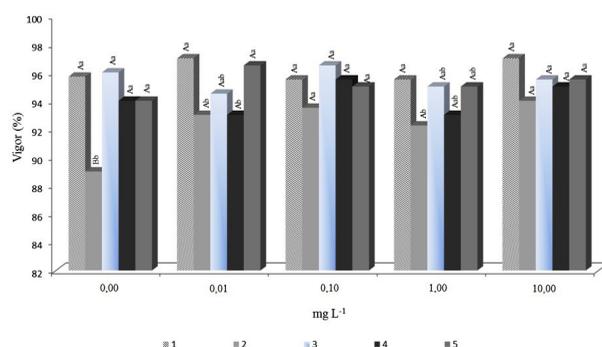
Legenda: 1: ácido gálico aplicado directamente sobre papel germitest®; 2: semillas envejecidas y ácido gálico aplicado directamente sobre el papel germitest®; 3: semillas embebidas en ácido gálico; 4: semillas envejecidas y embebidas en ácido gálico y 5: semillas embebidas en ácido gálico y envejecidas. Medias seguidas de la misma letra mayúscula entre las dosis para los procedimientos de aplicación y minúscula dentro de cada dosis en los diferentes procedimientos de aplicación, no difieren entre sí por el test LSD, al 5% de probabilidad.

germitest®, presentó las menores medidas para las dosis control 0,0; 0,01 y 0,1 mg L<sup>-1</sup>. Lo mismo fue observado en las dosis de 0,0 y 0,1 mg L<sup>-1</sup> para la forma de aplicación del ácido gálico en semillas embebidas y posteriormente envejecidas.

Al comparar cada dosis dentro de los diferentes procedimientos de aplicación del ácido gálico en semillas de trigo (Figura 1), para los grupos de semillas tratadas con el antioxidante en el papel germitest® o las embebidas en la solución del mismo, seguidas del envejecimiento acelerado, fue observado que las dosis inferiores a 0,10 mg L<sup>-1</sup>, presentaron baja germinación, cuando comparadas a las dosis de 1,0 mg L<sup>-1</sup> y 10,0 mg L<sup>-1</sup>, estas últimas dosis no presentan diferencias.

### Vigor de semillas

Los resultados de vigor (Figura 2) para las diferentes dosis aplicadas del antioxidante permiten comprobar que el envejecimiento acelerado de semillas de trigo seguido de la aplicación de ácido gálico sobre el papel germitest®, presentó una menor media y diferencias ( $p < 0,05$ ) de las demás procedimientos evaluadas.



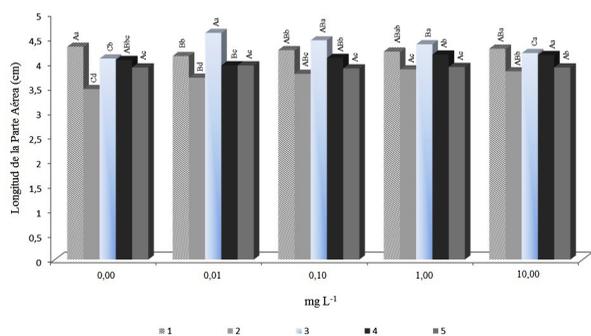
**Figura 2** - Resultados medios de vigor (%), provenientes de semillas de trigo sometidas a diferentes dosis de ácido gálico y procedimientos de aplicación.

Legenda: 1: ácido gálico aplicado directamente sobre papel germitest®; 2: semillas envejecidas y ácido gálico aplicado directamente sobre papel germitest®; 3: semillas embebidas en ácido gálico; 4: semillas envejecidas y embebidas en ácido gálico y 5: semillas embebidas en ácido gálico y envejecidas. Medias seguidas de la misma letra mayúscula entre las dosis para los procedimientos de aplicación y minúscula dentro de cada dosis en los diferentes procedimientos de aplicación, no difieren entre sí por el test LSD, al 5% de probabilidad.

Al comparar cada dosis de ácido gálico para los procedimientos de aplicación (Figura 2) incluyendo el control, aún en el control, fueron observadas las menores medias, que también difieren de los demás procedimientos de aplicación, el mismo resultado fue obtenido para las dosis 0,01 y 1,00 mg L<sup>-1</sup>, lo que comprueba una baja eficiencia de ese procedimiento de aplicación para el vigor de las semillas de trigo. Mientras las dosis 0,1 y 10,0 mg L<sup>-1</sup>, presentaron mayor vigor y no fueron observadas diferencias entre sí.

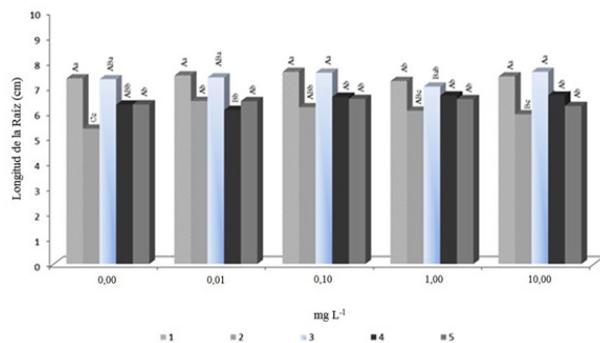
Los resultados de plántulas no fueron presentados debido a los bajos porcentajes observados (inferiores a 4%), e incluso, por la ausencia de anomalías. Los análisis de las longitudes de la parte aérea de las plántulas (Figura 3), en las diferentes dosis evaluadas, mostraron que las menores longitudes fueron obtenidas en las semillas envejecidas y tratadas con ácido gálico aplicado directamente sobre el papel germitest®, únicamente, en la dosis control.

Los mejores resultados para la longitud de la parte aérea de plántulas dentro de cada dosis (Figura 3) fueron significativos y obtenidos cuando se utilizó en el control el procedimiento de aplicación del ácido gálico directamente sobre el papel germitest®.



**Figura 3** - Resultados medios para longitudes de la parte aérea de las plántulas (cm), provenientes de semillas de trigo sometidas a diferentes dosis de ácido gálico procedimientos de aplicación.

Legenda: 1: ácido gálico aplicado directamente sobre papel germitest®; 2: semillas envejecidas y ácido gálico aplicado directamente sobre papel germitest®; 3: semillas embebidas en ácido gálico; 4: semillas envejecidas y embebidas en ácido gálico y 5: semillas embebidas en ácido gálico y envejecidas. Medias seguidas de la misma letra mayúscula entre las dosis para los procedimientos de aplicación y minúscula dentro de cada dosis en los diferentes procedimientos de aplicación, no se diferencian entre sí por el test LSD, al 5% de probabilidad.



**Figura 4** - Resultados medios para la longitud de la raíz de plántulas (cm), provenientes de semillas de trigo sometidas a diferentes dosis de ácido gálico y procedimientos de aplicación.

Legenda: 1: ácido gálico aplicado directamente sobre papel germitest®; 2: semillas envejecidas y ácido gálico aplicado directamente sobre papel germitest®; 3: semillas embebidas en ácido gálico; 4: semillas envejecidas y embebidas en ácido gálico y 5: semillas embebidas en ácido gálico y envejecidas. Medias seguidas de la misma letra mayúscula entre las dosis para los procedimientos de aplicación y minúscula dentro de cada dosis en los diferentes procedimientos de aplicación, no difieren entre sí por el test LSD, al 5% de probabilidad.

En las dosis de 0,01 y 0,1 mg L<sup>-1</sup>, mayores longitudes fueron obtenidas para las semillas embebidas en la solución de ácido gálico. El mismo resultado fue observado para la dosis de 1,0 mg L<sup>-1</sup>, con la adición de ácido gálico en semillas envejecidas y embebidas en la solución del antioxidante, los resultados no se diferenciaron entre sí.

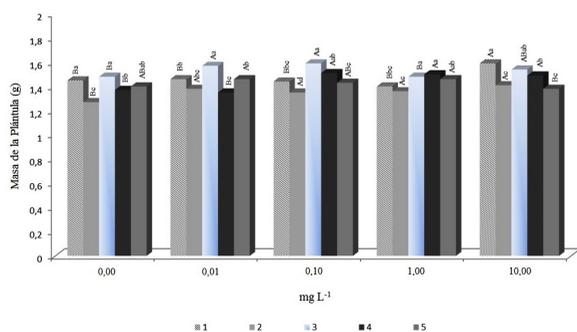
La longitud de la raíz en plántulas de trigo (Figura 4), para las dosis estudiadas en cada procedimiento de aplicación del ácido gálico presentó longitudes estadísticamente iguales cuando comparados con el control, excepto para las semillas envejecidas y con aplicación de ácido gálico directamente sobre el papel germitest®, que mostró las menores medias.

Para la comparación de los diferentes procedimientos de aplicación del antioxidante adicionado en cada dosis (Figura 4), se observó, que para el control, las semillas envejecidas presentan menores longitudes de raíces y se diferencian de las demás. Las dosis de 0,01; 0,1 y 10,0 mg L<sup>-1</sup> exhibieron las mayores longitudes de raíces cuando el antioxidante fue aplicado directamente sobre el papel germitest® y cuando las semillas fueron embebidas en la solución de ácido gálico. La dosis de 1,00 mg L<sup>-1</sup>

presentó menores medias de raíces cuando las semillas fueron envejecidas y el antioxidante aplicado sobre el papel germitest®, diferenciándose de los demás procedimientos de aplicación.

Para la masa de la plántulas de trigo (Figura 5) en las diferentes dosis evaluadas, se observó que el antioxidante aplicado directamente sobre el papel germitest® presentó mayor masa y fue significativo para la dosis de 10,0 mg L<sup>-1</sup>, diferenciándose de las demás. Las semillas sometidas al envejecimiento acelerado y aplicación de ácido gálico directamente sobre papel germitest®, mostraron incrementos en masa y se diferenciaron del control ( $p < 0,05$ ). Resultados similares fueron exhibidos en las dosis 0,01 y 0,1 mg L<sup>-1</sup> que difieren del control cuando las semillas fueron embebidas en solución del antioxidante, en contraste, las semillas envejecidas y embebidas en solución de ácido gálico en dosis superiores a 0,1 mg L<sup>-1</sup> mostraron las mayores masas en plántulas de trigo. En el grupo de semillas embebidas en solución de ácido gálico y después envejecidas, no fueron observadas diferencias en cuanto a las dosis y al control.

Al comparar los diferentes procedimientos de aplicación del compuesto antioxidante dentro de



**Figura 5** - Resultados medios para masa de plántulas (g), provenientes de semillas de trigo sometidas a diferentes dosis de ácido gálico y procedimientos de aplicación.

Legenda: 1: ácido gálico aplicado directamente sobre papel germitest®; 2: semillas envejecidas y ácido gálico aplicado directamente sobre papel germitest®; 3: semillas embebidas en ácido gálico; 4: semillas envejecidas y embebidas en ácido gálico y 5: semillas embebidas en ácido gálico y envejecidas. Medias seguidas de la misma letra mayúscula entre las dosis para los procedimientos de aplicación y minúscula dentro de cada dosis en los diferentes procedimientos de aplicación, no difieren entre sí por el test LSD, al 5% de probabilidad.

cada dosis (Figura 5), las dosis 0,0 y 0,1 mg L<sup>-1</sup>, presentaron menor masa de plántulas de trigo únicamente para semillas envejecidas con ácido gálico aplicado directamente sobre papel germitest®, diferenciándose de los demás. Lo mismo fue observado para la dosis de 1,0 mg L<sup>-1</sup>, no obstante, no hubo diferencia significativa para el grupo de semillas donde el ácido gálico fue aplicado directamente sobre papel germitest®. La dosis de 10,0 mg L<sup>-1</sup>, mostró efecto similar para las semillas envejecidas y con ácido gálico aplicado directamente sobre papel germitest® y semillas embebidas en ácido gálico y posteriormente envejecidas, diferenciándose de los demás procedimientos de aplicación del antioxidante. En la dosis 0,01 mg L<sup>-1</sup> la mayor masa fue exhibida por las semillas embebidas en el antioxidante, diferenciándose de las demás. Estos resultados permiten confirmar el aumento de masa en las plántulas de trigo al utilizar el antioxidante en el mejor procedimiento de aplicación.

## DISCUSIÓN

Es importante destacar que las mayores dosis de ácido gálico aplicadas en diferentes formas exhibieron mayor germinación, lo que demuestra

el efecto positivo del compuesto antioxidante en el proceso de germinación, en esta gama de dosis.

Al comparar cada dosis dentro de los diferentes procedimientos de aplicación del ácido gálico en semillas de trigo confirma nuevamente el efecto positivo del ácido gálico, a pesar de que las semillas fueron envejecidas. De acuerdo con Marco Filho (2015), el envejecimiento de las semillas, generalmente, promueve un aumento en la presencia de enzimas que remueven los radicales libres. Esto puede explicar porque no fueron observadas diferencias entre las dosis aplicadas cuando las semillas envejecidas fueron embebidas en el ácido gálico y para los demás tratamientos realizados con semillas sin envejecer (Figuras 1 y 2), por consiguiente, el uso de compuestos antioxidantes permitió incrementos en el vigor de las semillas de trigo, incluso cuando no eran envejecidas, sin embargo, el efecto no fue observado en semillas envejecidas y con aplicación de ácido gálico directamente sobre el papel, siendo posible afirmar que, este procedimiento de aplicación no sería el recomendado para garantizar mejoras en la calidad de semillas de trigo.

Este trabajo confirma el efecto benéfico del antioxidante en la dosis y el proceso de aplicación ideal sobre el crecimiento de las plántulas, debido a que, después de la aplicación de ácido gálico hubo incrementos en las longitudes de la parte aérea de las plántulas de trigo, excepto en las dosis de 10,0 mg L<sup>-1</sup>, posiblemente esta dosis pudo haber causado efectos tóxicos a los tejidos vegetales, ocasionando reducción significativa del crecimiento. Para Cantanhede Filho *et al.* (2017), los compuestos fenólicos tienden a ejercer efectos inhibitorios en la germinación y crecimiento de plántulas.

La longitud de la plántula, es afectada por la calidad de la semilla, porque, en condiciones adversas las semillas más vigorosas emiten el sistema radicular más rápidamente, tornándose más eficientes en la absorción de agua y nutrientes, por lo tanto, revelan mayor calidad fisiológica (Nakagawa, 1999; Guedes *et al.*, 2009).

Al analizar la masa de las plántulas de trigo, los rendimientos indican nuevamente la efectividad del compuesto antioxidante y permiten afirmar que el incremento de las plántulas de trigo se obtiene al

utilizar el antioxidante en el mejor procedimiento de aplicación.

Los resultados obtenidos en este trabajo permiten identificar los mejores procedimientos de aplicación del ácido gálico para los test ejecutados, así como, las dosis que presentan la mayor calidad de las semillas con uso del compuesto antioxidante. En las semillas envejecidas el uso de ácido gálico aplicado directamente sobre papel germitest®, no favoreció el vigor y la germinación de las semillas en comparación con aquellas embebidas en el compuesto antioxidante. Aunque existen pocas investigaciones sobre el uso del ácido gálico en la agricultura, el potencial antioxidante de ese producto ha sido confirmado por Singh y colaboradores (2017). Estos autores describieron el efecto positivo del ácido gálico en el crecimiento inicial y en la producción de compuestos antioxidantes y de defensa en plantas de arroz (*Oryza sativa* L.).

## CONCLUSIONES

La aplicación del ácido gálico embebiendo las semillas nuevas o envejecidas (sometidas al test de envejecimiento acelerado) proporciono el mejor resultado de los parámetros fisiológicos durante la germinación, evidenciando el potencial del ácido gálico como modulador positivo de la fisiología de la germinación y del desenvolvimiento inicial de plántulas de trigo de trigo 'BRS 264'.

## AGRADECIMIENTOS

A la Capes por la concesión de la beca, al Programa Nacional de Posdoctorado, al Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología de Productos Naturales –INCT BioNat y a la UFV-CRP por el apoyo estructural.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Bailly, C.; El-Maarouf-Bouteau, H. & Corbineau, F. (2018) - From intracellular signaling networks to cell death: the dual role of reactive oxygen species in seed physiology. *Comptes Rendus Biologies*, vol. 331, n. 10, p. 806-814. <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2008.07.022>
- Brasil (2009) - *Regras para Análise de Sementes*. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, Mapa/ACS, 399 p.
- Cantanhede Filho, A.J.; Santos, L.S.; Guilhona, G.M.S.P.; Zoghbi, M.G.B.; Ports, P.S. & Rodrigues, I.C.S. (2017) - Triterpenoides, fenólicos e efeito fitotóxico das folhas de *Eugenia flavescens* DC (Myrtaceae). *Química Nova*, vol. 40, n. 3, p. 252-259. <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20160190>
- Choubey, S.; Varughese, L.R.; Kumar, V. & Beniwal, V. (2015) - Medicinal importance of gallic acid and its ester derivatives: a patent review. *Pharmaceutical Patent Analyst*, vol. 4, n. 4, p. 305-315. <https://doi.org/10.4155/ppa.15.14>
- Dias, D.C.F.S. & Marcos Filho, J. (1996) - Testes de condutividade elétrica para avaliação do vigor de sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). *Scientia Agricola*, vol. 53, n. 1, p. 31-42. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90161996000100005>
- Fanan, S.; Medina, P.F.; Ta Lima, T.C. & Marcos Filho, J. (2006) - Avaliação do vigor de sementes de trigo pelos testes de envelhecimento acelerado e de frio. *Revista Brasileira de Sementes*, vol. 28, n. 2, p. 152-158.
- Ferreira, D.F. (2011) - Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência & Agrotecnologia*, vol. 35, n. 6, p. 1039-1042. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>
- Ferreira, A.L.A. & Matsubara, L.S. (1997) - Radicais livres: conceitos, doenças relacionadas, sistema de defesa e estresse oxidativo. *Revista da Associação Médica Brasileira*, vol. 43, n. 1, p. 61-68. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-42301997000100014>
- Guedes, R.S.; Alves, E.U.; Gonçalves, E.P.; Viana, J.S.; Medeiros, M.S. & Lima, C.R. (2009) - Teste de comprimento de plântula na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de *Erythrina velutina* Willd (Fabaceae-Papilionoideae). *Semina Ciências Agrárias*, vol. 30, n. 5, p. 793-802. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542009000500023>

- Li, Z.H.; Wang, Q.; Ruan, X.; Pan, C.D. & Juang, D.A. (2010) - Phenolics and plant allelopathy. *Molecules*, vol. 15, n. 12, p. 8933-8952. <https://doi.org/10.3390/molecules15128933>
- Kumar, S.J.; Prasad, S.R.; Banerjee, R. & Thammineni, C. (2015) - Seed birth to death: dual functions of reactive oxygen species in seed physiology. *Annals of Botany*, vol. 116, n. 4, p. 663-668. <https://doi.org/10.1093/aob/mcv098>
- Marcos Filho, J. (2015) - *Fisiologia de sementes de plantas cultivadas*. 2ª ed. Londrina, Abrates, 659 p.
- Marcos Filho, J. (1999) - Testes de vigor: importância e utilização. In: Krzyzanowski, F.C. (Ed.) - *Vigor de sementes: conceitos e testes*. Londrina, Abrates, p.1.1-1.24.
- Nakagawa, J. (1999) - Testes de vigor baseados na avaliação das plântulas. In: Krzyzanowski, F.C.; Vieira, R.D. & França Neto, J.B. (Ed.) - *Vigor de sementes: conceitos e testes*. Londrina, Abrates, p.2.1-2.21.
- Prince, P.S.M.; Priscilla, H. & Devika, P.T. (2009) - Gallic acid prevents lysosomal damage in isoproterenol induced cardiotoxicity in Wistar rats. *European Journal of Pharmacology*, vol. 615, n. 1-3, p. 139-143. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2009.05.003>
- Ratnam, D.V.; Ankola, D.D.; Bhardwaj, V.; Sahana, D.K. & Kumar, M.R. (2006) - Role of antioxidants in prophylaxis and therapy: A pharmaceutical perspective. *Journal of Controlled Release*, vol. 113, n. 3, p. 189-207. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2006.04.015>
- Serkedieva, J. (2011) - Antioxidant effects of plant polyphenols: a case study of a polyphenol-rich extract from *Geranium sanguineum* L. In: Gupta, S.D. (Ed.) - *Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants*. Enfield, Science Publishers, p. 275-293.
- Singh, A.; Gupta, R. & Pandey, R. (2017) - Exogenous application of rutin and gallic acid regulate antioxidants and alleviate reactive oxygen generation in *Oryza sativa* L. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, vol. 23, n. 2, p. 301-309. <https://doi.org/10.1007/s12298-017-0430-2>
- Verma, S.; Singh, A. & Mishra, A. (2013) - Gallic acid: Molecular rival of cancer. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, vol. 35, n. 3, p. 473-485. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2013.02.011>
- Yan, J., Bi, H.-H.; Liu, Y.-Z.; Zhang, M.; Zhou, Z.-Y. & Tan, J.-W. (2010) - Phenolic compounds from *Merremia umbellata* subsp. *orientalis* and their allelopathic effects on *Arabidopsis* seed germination. *Molecules*, vol. 15, n. 11, p. 8241-8250. <https://doi.org/10.3390/molecules15118241>
- Yao, Y.; Wu, M.; Huang, Y.; Li, C.; Pan, X.; Zhu, W. & Huang, Y. (2017) - Appropriately raising fermentation temperature beneficial to the increase of antioxidant activity and gallic acid content in *Eurotium cristatum*-fermented loose tea. *LWT - Food Science and Technology*, vol. 82, p. 248-254. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.032>