



## Efectos inmediatos y tras almacenaje del recubrimiento con boro de semillas de algodón

José de Souza Abreu Júnior<sup>1</sup>, Cassyo de Araújo Rufino<sup>2</sup>, Pablo Martín-Ramos<sup>3</sup>, Ricardo Pereira Cunha<sup>1</sup>, Jucilayne Fernandes Veira<sup>4</sup>, Jesús Martín-Gil<sup>5</sup>

- <sup>1</sup> Instituto Federal Baiano, Campus Bom Jesus da Lapa. BR349, km 14, Zona Rural. 47600-000, Brasil.
- <sup>2</sup> Centro Universitário UniFG, Avenida Pedro Felipe Duarte, 4911 - São Sebastião, Guanambi - Bahia, 46430-000, Brasil.
- <sup>3</sup> Departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural, EPS, Universidad de Zaragoza, Carretera de Cuarte, s/n, 22071 Huesca, España
- <sup>4</sup> Agência de Defesa Agropecuária da Bahia – ADAB. Avenida Adhemar de Barros, 967, Ondina, Salvador - Bahia, 40.170-110, Brasil.
- <sup>5</sup> Departamento de Ingeniería Agroforestal, ETSIIAA, Universidad de Valladolid, Avenida de Madrid 44, 34004 Palencia, España

**Resumen:** Se presentan los resultados de la evaluación de la calidad fisiológica de las semillas de algodón tras su recubrimiento con un material compuesto basado en boro. Para el tratamiento de las semillas se ha empleado el producto comercial Jel Fertil® como fuente de boro, junto con un insecticida y un fungicida en una matriz polimérica. Se han ensayado 4 dosis distintas (0,05, 0,10, 0,20 y 0,30 mL·kg<sup>-1</sup> de semillas). La calidad de las semillas y el rendimiento de las plántulas se han evaluado antes y después del almacenaje mediante diferentes determinaciones y parámetros: prueba de germinación, primer recuento de germinación, prueba de envejecimiento acelerado, longitud de plántula, longitud de la parte aérea, longitud radicular, prueba de emergencia de campo, índice de velocidad de emergencia, contenido de agua, peso seco de la parte aérea, peso seco radicular y altura de planta. El recubrimiento con el material compuesto no ha afectado negativamente a la calidad fisiológica de las semillas, ni antes ni después del almacenamiento. De hecho, las semillas recubiertas tienden a comportarse mejor que las semillas desnudas. La inclusión de boro en el compuesto de recubrimiento no produce un efecto inmediato sobre la germinación, el vigor y la aparición de semillas, pero sí un efecto beneficioso en el peso seco de la parte aérea antes del almacenamiento, y en las longitudes de la parte aérea y radicular. Después de cuatro meses de almacenamiento, el recubrimiento de polímero ha mantenido su efectividad insecticida y fungicida. Las concentraciones de boro utilizadas en el experimento no han dado lugar a síntomas visuales de toxicidad.

**Palabras clave:** boro; coating; composite; *Gossypium hirsutum* L.; micronutrientes

### 1. Introducción

El algodón (*Gossypium hirsutum* L.) es una de las fibras textiles más importantes, ya que representa alrededor del 35% del uso mundial de fibra. Si bien unos 80 países producen algodón, Estados Unidos, China e India proporcionan dos tercios del algodón del mundo.

Brasil es el quinto mayor productor y el cuarto mayor consumidor de algodón [1]. A pesar del escenario adverso actual, con fuertes caídas en los precios de la fibra, la producción brasileña de algodón en la temporada 2018/19 superó las 6.436.000 toneladas, ocupando un área de cultivo de 1.569.000 hectáreas [2]. El reciente interés del mercado por el algodón en pluma de Brasil ha

dado lugar a la adopción por los productores de estrategias más eficaces, con aplicación de técnicas de bajo coste y buenos retornos de productividad. En este sentido, el recubrimiento de semillas reviste gran relevancia, pues con cantidades muy pequeñas de productos químicos se consigue promover el crecimiento inicial y, además, proteger el cultivo del ataque de plagas y enfermedades en la primera fase del desarrollo de la cutícula.

Un componente importante de la producción de algodón rentable (que afecta tanto al rendimiento como a la calidad del algodón) es la disponibilidad de una nutrición adecuada y equilibrada. La fertilización racional del algodón asegura una mejor economía de producción, la eficiencia en el uso de nutrientes y la protección del medio ambiente.

En cuanto a los micronutrientes, el boro es considerado el más importante para la producción de algodón. Es esencial en todas las etapas del crecimiento de la planta, y de manera crítica durante el desarrollo del fruto (especialmente, con variedades de alto rendimiento y rápida fructificación). Un suministro adecuado de boro ayuda al algodón a desarrollar y retener más botones florales, a aumentar la polinización de la floración y el conjunto de cápsulas, a la movilización de nutrientes y azúcares de las hojas a la fruta, a la producción de fibras fuertes y bien desarrolladas, y acelerar la madurez [3]. No obstante, la información sobre la movilidad de los nutrientes dentro de la planta, los niveles y dosis más apropiados y la forma de aplicación aún es limitada. Además, los cultivares de algodón tienen eficiencias distintas en el uso de boro, respondiendo de manera diferencial a su adición al suelo [4].

Por otro lado, todas las inversiones realizadas en la etapa de producción del cultivo pueden desperdiciarse si no se aplican prácticas adecuadas de almacenamiento. Se debe hacer hincapié en garantizar unas condiciones de conservación que mantengan la calidad de la semilla [5]. Por ejemplo, es importante reducir el contenido de humedad de las semillas porque minimizará la actividad respiratoria, reducirá el consumo de reservas y, por lo tanto, las conservará durante más tiempo, en particular si se mantienen en un ambiente en el que la temperatura y la humedad relativa están controladas [6]. Si bien se dispone de información abundante sobre el almacenamiento de semillas de algodón sin tratar, el efecto del tratamiento con boro en la longevidad de las semillas almacenadas sigue pendiente de estudio.

Por tanto, es importante la realización de trabajos científicos que analicen el potencial de almacenamiento de las semillas de algodón tratadas con productos químicos y sus efectos latentes, un tema clave para los productores, que buscan poder tratar las semillas, dejarlas almacenadas, y utilizarlas para la siembra en campo. De esta forma, el principal objetivo del almacenamiento sería el mantenimiento de la calidad fisiológica de las semillas, reduciendo al mínimo el deterioro de las mismas [7].

El objetivo del presente estudio fue evaluar la germinación y el vigor de semillas de algodón recubiertas con diferentes dosis de boro, investigando el efecto de estos recubrimientos sobre el crecimiento inicial de las plántulas de algodón antes y después del almacenamiento en condiciones no controladas (reproduciendo la situación más habitual entre los productores) durante 120 días.

## 2. Material y métodos

Este trabajo se realizó en el Laboratório Didático de Análise de Sementes (LDAS) y en las instalaciones de invernadero de la Facultad de Agronomía “Elisha Maciel” (FAEM) de la Universidade Federal de Pelotas (RS, Brasil).

La Fundação Bahia - Luís Eduardo Magalhães/BA suministró las semillas del cultivar de algodón BRS 286 (ciclo de 140-160 días y tamaño bajo a mediano). En el momento del estudio, este cultivar presentaba una tasa de germinación del 88%.

Los tratamientos consistieron en la aplicación de fertilizante foliar con boro Jel fértil® a diferentes dosis, en combinación con un fungicida (Maxin-XL®, 2 mL·kg<sup>-1</sup> de semilla), un insecticida (Cruise 350 FS®, 4 mL·kg<sup>-1</sup> de semilla) y un polímero (Colorseed HE®, 4 mL·kg<sup>-1</sup> de

semilla). Los tratamientos se etiquetaron de la siguiente manera: semilla no tratada ("T0"); fungicida (F) + insecticida (I) + polímero (P) ("T1"); 0,05 mL de boro·kg<sup>-1</sup> semilla + F + I + P ("T2"); 0,10 mL de boro·kg<sup>-1</sup> semilla + F + I + P ("T3"); 0,20 mL de boro·kg<sup>-1</sup> semilla + F + I + P ("T4"); y 0,30 mL de boro·kg<sup>-1</sup> semilla + F + I + P ("T5").

El recubrimiento de las semillas se realizó conforme al método descrito por Nunes [8], es decir, mediante un procedimiento manual empleando bolsas de polietileno. El insecticida, el fungicida, la fitina y el polímero se colocaron directamente en el fondo de la bolsa de plástico hasta una altura de aproximadamente 15 cm. Posteriormente, se agregó 1 kg de semillas y la bolsa de plástico se agitó durante 3 min. Las semillas se dejaron secar a temperatura ambiente durante 24 h. Este procedimiento se repitió para obtener el número necesario de semillas para cada tratamiento.

Después del tratamiento, parte de las semillas se sometieron a una evaluación de su calidad inicial y el resto se dividió en lotes de 100 g, que se envolvieron en un papel con un espesor de 0,125 mm y se almacenaron en condiciones no controladas a una temperatura media de 22,3 °C y a una humedad relativa del 78,4% para su estudio después de 120 días (de diciembre a marzo). En dicho periodo, la temperatura más baja registrada fue de 15,1 °C (16 de marzo) y la más alta de 29 °C (25 de diciembre), mientras que la humedad relativa alcanzó su valor más bajo el 10 de diciembre (54%) y su valor más alto el 20 de febrero (94,8%). El contenido de humedad de la semilla se determinó al principio y al final del período de almacenamiento.

Para la evaluación de la calidad fisiológica de las semillas, se realizaron las siguientes pruebas de germinación, vigor y desarrollo de plántulas:

La prueba de germinación (*germination test*, GT) se realizó con 200 semillas por tratamiento, que se sembraron en papel 'Germitest' humedecido con una cantidad de agua destilada equivalente a tres veces el peso del papel seco, y posteriormente se mantuvieron en un germinador a 25 °C. Los conteos se realizaron a los cuatro y doce días después de la siembra, según lo prescrito por Brasil Mapa/ACS [9].

El primer recuento de germinación (*first germination count*, FGC) se realizó conjuntamente con la prueba de germinación, contando las plántulas normales cuatro días después del inicio de la prueba. Los resultados se expresaron como porcentaje de plántulas normales.

El test de envejecimiento acelerado (*accelerated aging*, AA) se llevó a cabo de acuerdo con la metodología propuesta por Baalbaki [10] y descrita por Marcos Filho [11]. La prueba se realizó en cajas de plástico con una pantalla de aluminio suspendida en el interior, en la que se distribuyeron 200 semillas para formar una capa uniforme. Se añadió agua (40 mL) a cada caja de plástico. Las cajas se cubrieron y se mantuvieron en una incubadora para DBO (demanda bioquímica de oxígeno) a 42 °C durante 72 h, después de lo cual se llevó a cabo una prueba de germinación. Las evaluaciones se realizaron cuatro días después de la siembra [9] y los resultados se expresaron como porcentaje medio de plántulas normales para cada lote.

Para las pruebas de longitud de la parte aérea y radicular (*shoot length*, SL, y *root length*, RL, respectivamente), se distribuyeron cuatro lotes de muestreo de 15 semillas de cada tratamiento en papel humedecido con agua destilada (2,5 veces la masa del papel seco) y se guardaron en el germinador a 25 °C durante cuatro días [12]. La longitud total de las plántulas, la longitud de la parte aérea y la longitud de las raíces primarias se determinaron al final del cuarto día, con la ayuda de una regla milimétrica [9].

La prueba de emergencia de campo (*field emergence*, FE) se realizó con cuatro repeticiones con 50 semillas para cada tratamiento, que se sembraron en lechos llenos de suelo recogido del horizonte A1 de un planosol háplico eutrófico solódico perteneciente a la unidad de mapeo Pelotas [13]. La evaluación se realizó 12 días después de la siembra, contando las plántulas emergidas. Los resultados se expresaron como porcentaje medio de plántulas emergidas.

La prueba del índice de velocidad de emergencia (*emergence speed index*, ESI) se realizó junto con la prueba de emergencia, con recuentos diarios de plántulas emergidas, y la tasa de germinación se calculó utilizando la fórmula propuesta por Maguire [14].

Las determinaciones de peso seco de la parte aérea y radicular (*shoot dry weight*, SDW, y *root dry weight*, RDW, respectivamente) se realizaron junto con la prueba de longitud de plántulas. Después de la medición, se seccionaron las plántulas, separando la parte aérea del sistema radical. Las diferentes secciones se colocaron luego en cápsulas de aluminio y se mantuvieron en un horno con ventilación forzada a 65 °C durante 96 h. Posteriormente, el peso seco se determinó utilizando una báscula de precisión (0,0001 g) y los resultados se expresaron en mg·plántula<sup>-1</sup>, de acuerdo con las recomendaciones de Nakagawa, *et al.* [15].

El contenido de humedad (*moisture content*, MC), antes y después del almacenamiento, se determinó utilizando el método del horno a 105±3 °C durante 24 h (con circulación de aire forzado), utilizando cuatro réplicas de 5 g de semillas por tratamiento [9].

Con respecto al análisis estadístico, se utilizó un diseño completamente aleatorio con cuatro repeticiones. Los datos se analizaron para determinar la normalidad y la homocedasticidad, y posteriormente se sometieron a análisis de varianza ( $p < 0,05$ ). Con una probabilidad significativa  $F$ , las medias se compararon frente a la dosis T1 mediante la prueba de Dunnett.

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1. Efectos inmediatos

No se encontraron diferencias significativas para las distintas dosis de boro en términos de la prueba de germinación, el primer recuento de germinación y el envejecimiento acelerado cuando se compararon sus valores medios con los controles T0 (semillas no tratadas) y T1 (tratamiento con fungicida + insecticida + polímero) (Tabla 1).

Del mismo modo, las distintas dosis de boro no dieron lugar a diferencias significativas para la prueba de emergencia de campo, que es una de las más confiables para evaluar la calidad fisiológica de las semillas (ya que el sustrato es el suelo, lo que permite la lixiviación de los productos con los que se recubrieron las semillas), ni para el parámetro ESI. No obstante, las semillas cubiertas con la dosis más alta de boro (T5) tuvieron un rendimiento ligeramente inferior en los parámetros mencionados anteriormente.

Los resultados resumidos en la Tabla 1 muestran que la adición de boro al compuesto de revestimiento no tuvo un efecto inmediato sobre la germinación, el vigor o la emergencia de semillas.

Se encontraron diferencias significativas para la longitud de la parte aérea de las plántulas (Tabla 1) entre el control de T1 (fungicida + insecticida + polímero) y el tratamiento con 0,3 mL de boro·kg<sup>-1</sup> (T5), siendo aproximadamente un 20% menor para este último. Este comportamiento también se observó para la variable de longitud radicular, en la que la dosis más alta (T5) también tuvo un efecto perjudicial en comparación con T1, con una disminución del 14,2% (Tabla 1), lo que confirma la tendencia observada para las pruebas de FE y ESI. Por otro lado, la dosis más baja de boro (T2) mejoró los parámetros de SL y RL de manera significativa en comparación con el control T0 (en un 14% y un 6,3%, respectivamente).

Con respecto al peso seco de la parte aérea, se observó que todas las dosis de boro estudiadas fueron beneficiosas (Tabla 1): el mayor aumento frente al control T1 (en un 31,5%) correspondió a T3. Por otro lado, el tratamiento con boro parece que tuvo un efecto perjudicial sobre el peso seco de parte radicular, ya que se observó una reducción en todos los casos (aunque no fue significativa desde el punto de vista estadístico), más marcada para la dosis más alta (T5).

**Tabla 1.** Primer recuento de germinación (FGC), prueba de germinación (GT), envejecimiento acelerado (AA), emergencia de campo (FE), índice de velocidad de emergencia (ESI), longitud de la parte aérea (SL), longitud radicular (RL), peso seco de la parte aérea (SDW), peso seco radicular (RDW) y contenido de humedad (MC) de las semillas de algodón recubiertas con un material compuesto (que consta de diferentes dosis de boro, un fungicida, un insecticida y un polímero) antes del almacenamiento. Todos los valores son un promedio de cuatro repeticiones.

Tratamiento	FGC <sup>ns</sup>	GT <sup>ns</sup>	AA <sup>ns</sup>	FE <sup>ns</sup>	ESI <sup>ns</sup>	SL	RL	SDW	RDW <sup>ns</sup>	MC
	(%)				(cm)		(mg)		%	
T0	79	88	77	89	18,2	5,0	11,1	380,1	81,7	9,5
T1	83	90	78	90	18,9	5,2	11,8	472,9	77,9	9,6
T2	81	90	78	91	18,0	*5,7	*11,8	*511,0 <sup>β</sup>	78,3	10
T3	83	91	79	91	17,4	5,0	11,3	*621,0 <sup>β</sup>	68,5	9,6
T4	83	91	78	89	17,8	4,8	10,7 <sup>β</sup>	*604,4 <sup>β</sup>	70,1	9,8
T5	85	92	79	87	16,4	*4,1 <sup>β</sup>	*10,2 <sup>β</sup>	*607,7 <sup>β</sup>	66,9	10,0
CV (%)	3,19	3,33	2,21	3,61	7,32	4,75	1,97	9,34	11,02	-

Los valores medios precedidos por '\*' y seguidos por 'β' difieren de los tratamientos T0 y T1, respectivamente, de acuerdo con la prueba de Dunnett ( $p \leq 0,05$ ). *ns* indica variables que no son significativas a la probabilidad *F* ( $p \leq 0,05$ ).

### 3.2. Efectos tras almacenaje

Con respecto a los datos de germinación, resumidos en la Tabla 2, no se encontraron diferencias significativas entre las diversas dosis probadas en términos de la prueba de germinación, el primer recuento de germinación, el envejecimiento acelerado y las pruebas de emergencia en el campo. Se pudo observar una leve mejoría para todas las muestras tratadas, como en la sección anterior, pero sólo fue significativa desde un punto de vista estadístico para T4 frente a T0 (no frente a T1) en la prueba de emergencia de campo, con un aumento del 16,6%. Por otro lado, se observó una diferencia significativa entre T5 y T1 para la prueba de envejecimiento acelerado: para la dosis más alta de boro (0,3 mL de boro·kg<sup>-1</sup> semilla), la germinación fue un 15% más baja que la del control T1. A efectos comparativos, dos Santos, *et al.* [16] no encontraron diferencias significativas en el envejecimiento acelerado de semillas de marandú (*Brachiaria brizantha* (A.Rich.) Stapf) con recubrimiento.

En relación con el índice de velocidad de emergencia, nuevamente no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos y los controles. No obstante, es preciso señalar que los tratamientos T2, T3 y T4 aumentaron la velocidad de emergencia en un 14%, un 16% y un 25%, respectivamente, en comparación con T0 (semilla desnuda). Por otro lado, los tratamientos T2, T3 y T5 redujeron el ESI en un 4,5%, 2,5% y 18%, respectivamente, en comparación con el control T1.

Cuando se analizó la longitud de la parte aérea (Tabla 2), se evidenciaron diferencias significativas entre el tratamiento con T3 y el control T0 (aumento del 17,2%) y entre los tratamientos con T3 y T4 en comparación con el control con T1 (la dosis de 0,1 mL de boro·kg<sup>-1</sup> aumentó la longitud de la parte aérea de las plántulas en un 21,6% y la dosis de 0,20 mL de boro·kg<sup>-1</sup> condujo a un aumento del 9,6%).

Con respecto a la longitud radicular, todas las dosis de boro tuvieron un impacto positivo, excepto la dosis más alta (0,3 mL de boro·kg<sup>-1</sup> semillas): los tratamientos con T2 y T3 aumentaron el valor medio de la longitud radicular (en comparación con T0 y T1), mientras que la longitud radicular para T4 fue muy similar a la de T1 y superior a la del control T0. Por el contrario, el tratamiento T5 disminuyó la longitud radicular en un 10,6% en comparación con el control T1. A efectos comparativos, Ohse, *et al.* [17] encontraron una disminución del 1,2% en la longitud

radicular de las plántulas cuando se aplicó una dosis de 0,065 g de  $H_3BO_3 \cdot kg^{-1}$  a semillas de arroz, acompañada por un aumento del 3,7% en la longitud de la parte aérea.

Con respecto a la variable de peso seco de la parte aérea, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tratamientos con boro y el control T1, aunque todos los tratamientos (incluido el control T1) condujeron a valores más bajos que los del control T0. En relación con el peso seco radicular, todos los tratamientos con boro tuvieron un impacto negativo en comparación con los controles T0 y T1 (que sólo fue estadísticamente significativo frente a T1, excepto para T5, para el que también se encontró una diferencia significativa frente al control T0). La dosis de 0,3 mL de boro  $\cdot kg^{-1}$  dio como resultado una disminución del peso seco radicular de un 23,1% en comparación con el control T1. Esto contrasta con los resultados de Ohse, *et al.* [17], que también informaron de una disminución en el peso seco de la parte aérea, pero encontró un aumento del 11,7% en el peso seco radicular (para la dosis única de boro probada en semillas de arroz).

**Tabla 2.** Primer recuento de germinación (FGC), prueba de germinación (GT), envejecimiento acelerado (AA), emergencia de campo (FE), índice de velocidad de emergencia (ESI), longitud de la parte aérea (SL), longitud radicular (RL), peso seco de la parte aérea (SDW), peso seco radicular (RDW) y contenido de humedad (MC) de las semillas de algodón recubiertas con un material compuesto (que consta en diferentes dosis de boro, un fungicida, un insecticida y un polímero) después de 120 días de almacenamiento en condiciones no controladas. Todos los valores son un promedio de cuatro repeticiones.

Tratamiento	FCG <sup>ns</sup>	GT <sup>ns</sup>	AA <sup>ns</sup>	FE <sup>ns</sup>	ESI <sup>ns</sup>	SL	RL	SDW	RDW	MC
	(%)				(cm)		(mg)		%	
T0	87	87	64	78	8,2	2,9	8,7	443,6	60,3	9,6
T1	90	90	74	84	12	2,8	9,0	429,5	62,8	10,2
T2	90	90	69	83	10,7	2,9	9,2	415,2	53,0 <sup>β</sup>	10,1
T3	91	91	67	88	11,1	*3,4 <sup>β</sup>	9,5	433,1	53,0 <sup>β</sup>	10,4
T4	90	90	70	*91	12,7	3,0 <sup>β</sup>	8,9	408,2	52,7 <sup>β</sup>	10,1
T5	90	90	63 <sup>β</sup>	83	8,2	2,9	8,1 <sup>β</sup>	428,2	*48,3 <sup>β</sup>	10,4
CV (%)	4,15	4,15	6,23	5,9	14,43	3,52	6,12	4,33	7,44	

Los valores medios precedidos por '\*' y seguidos por 'β' difieren de los tratamientos T0 y T1, respectivamente, de acuerdo con la prueba de Dunnett ( $p \leq 0,05$ ). *ns* indica variables que no son significativas a la probabilidad *F* ( $p \leq 0,05$ ).

A partir de los datos sobre el contenido de humedad de las semillas en el análisis inicial (Tabla 1) y después de su almacenamiento durante cuatro meses en un entorno no controlado (Tabla 2), se pudo inferir que el contenido de humedad de las semillas durante el período de almacenamiento no se vio afectado por el recubrimiento de las semillas y la aplicación de boro. Al inicio del almacenamiento, el contenido de humedad de las semillas oscilaba entre el 9,5 y el 10,0%. Después de su almacenaje durante cuatro meses, el contenido de humedad para los diferentes tratamientos aumentó en un 1% y en un 4% para los valores que presentaron el contenido de humedad más alto y más bajo antes del almacenamiento, respectivamente, mostrando la tendencia habitual de las semillas almacenadas en condiciones no controladas a buscar el equilibrio higroscópico con la humedad relativa del ambiente que los rodea a través de un proceso de intercambio dinámico de humedad [5]. La presencia del polímero en el recubrimiento de semillas puede considerarse como una protección que evitaría cambios bruscos en la absorción de agua de las semillas durante períodos de alta humedad del aire y baja temperatura.

Con respecto al impacto del almacenamiento en la evolución de los otros parámetros, fue similar para las semillas no tratadas y recubiertas para FGC (que aumentó aproximadamente un

7% en todos los casos), GT (que se mantuvo casi constante) y AA (que disminuyó en cerca del 10% en todos los casos). La disminución en la FE fue menos marcada para las muestras tratadas que para las semillas no tratadas (y para T4, por ejemplo, se produjo un aumento), y lo mismo es aplicable al ESI para los tratamientos T1-T4. Por otro lado, mientras que la disminución en los parámetros SL y RL fue similar para las semillas no tratadas y tratadas, sí se observaron diferencias para los parámetros SDW y RDW: la notable mejora en SDW para las semillas tratadas no se repitió después del almacenaje (los valores fueron similares en todos los casos y más altos que el valor inicial para T0 antes del almacenamiento), y la reducción en RDW fue más evidente después del almacenamiento.

De los datos presentados anteriormente, se puede inferir que el recubrimiento con el material compuesto que consta de boro + fungicida + insecticida + polímero no afectó negativamente a la calidad fisiológica de la semilla, ni antes ni después del almacenamiento. Por el contrario, los resultados para los parámetros analizados mostraron que, en términos generales, hubo una tendencia de las semillas recubiertas a comportarse mejor que las semillas no tratadas (excepto para T5, como se explicará más adelante).

Con respecto a la influencia del boro en calidad de micronutriente sobre la calidad fisiológica de las semillas, existe cierta controversia en la literatura, ya que se han informado efectos dispares para diferentes cultivos: Kappes, *et al.* [18] y Leite [19] concluyeron que la calidad foliar de las semillas de soja y de arroz, respectivamente, no se veía influenciada por la aplicación foliar de boro a las semillas. Asimismo, Wazilewski, *et al.* [20], trabajando con semillas de girasol, no encontró un aumento significativo en la producción de peso fresco y seco; y Bonacin, *et al.* [21] también indicaron que las características morfológicas y fisiológicas de las semillas de girasol no se vieron afectadas por las dosis de boro. Por otro lado, Farinelli, *et al.* [22] encontraron aumentos en el vigor de las semillas de alubia con fertilización con boro y calcio; Farooq, *et al.* [23] concluyeron que el recubrimiento de semillas de arroz con boro mejoró la energía de germinación, el índice de germinación y el porcentaje de germinación final de las semillas; y Rehman, *et al.* [24] informaron de que el boro mejoró las relaciones hídricas, la fertilidad de la panícula, el rendimiento del grano y la biofortificación del arroz aromático de grano fino. Por el contrario, de Oliveira, *et al.* [25] y Shabaz, *et al.* [26] observaron que el boro tuvo una influencia negativa en la germinación y el vigor en semillas de ricino y semillas de maíz, respectivamente.

También resulta llamativo que, trabajando con semillas de trigo, Ashagre, *et al.* [27] encontraron que el porcentaje y la tasa de germinación, la longitud de la parte aérea y radicular, los pesos frescos y secos de la parte aérea y radicular, el número de raíces, la proporción raíz-tallo y el índice de vigor de las plántulas disminuyeron para dosis de boro superiores a 0,25 mg/L, en línea con los hallazgos de este estudio, en el que la dosis más alta (0,3 mL de boro·kg<sup>-1</sup> semillas) también fue perjudicial en algunos casos, reduciendo el vigor. En el artículo de revisión de Farooq, *et al.* [28], también se hace hincapié en la importancia crucial de la concentración de boro: los experimentos sobre el cebado de semillas en soluciones de ácido bórico tuvieron efectos estimulantes y supresores de la germinación en varios cultivos (incluyendo nabo, girasol, soja, remolacha azucarera, alfalfa, arroz, trigo y cebada). Las semillas cebadas en las soluciones de boro más concentradas no pudieron emerger, mientras que las cebadas en soluciones de boro más diluidas mejoraron el establecimiento del rodal.

En lo que respecta al efecto de *composites* análogos (micronutrientes + fungicidas + insecticidas + polímeros) sobre la calidad de las semillas en la literatura, no hay datos reales sobre *composites* con boro (hasta donde sabemos), pero se han encontrado efectos dispares para *composites* con zinc. Por ejemplo, Vieira, *et al.* [29], trabajando con semillas de arroz recubiertas con zinc, no encontraron diferencias significativas en la germinación de las semillas. Resultados similares han sido informados por Funguetto [30] para semillas de arroz recubiertas con zinc, un fungicida y un polímero, o por Lemes, *et al.* [31], para semillas de trigo recubiertas con zinc, un fungicida y un polímero. Por otro lado, de Tunes, *et al.* [32] y Araujo Rufino, *et al.* [33] observaron

un impacto positivo de tratamientos análogos en semillas de trigo, y también lo hicieron Arjmand, *et al.* [34] para semillas de cebada y Schwerz, *et al.* [35] para semillas de avena blanca. Por el contrario, Yagi, *et al.* [36] encontraron una reducción en el porcentaje de germinación para semillas de sorgo tratadas con zinc. Las diferencias entre los resultados descritos anteriormente podrían explicarse por las diferencias entre los cultivos en términos de eficiencia de uso de los nutrientes [31].

En relación con las posibles interferencias de la matriz polimérica sobre la eficiencia de los productos insecticidas y fungicidas, Pereira, *et al.* [37] encontraron que los polímeros comerciales ensayados como parte del recubrimiento de semillas de soja (AGL 205 y AGL 202, INCOTEC Group BV, Países Bajos) mejoraban la adherencia de los fungicidas, sin modificar su efecto. Además, los recubrimientos con polímeros no tuvieron efectos significativos sobre la germinación y el vigor de semillas de soja [37] y de algodón [38]. Estos resultados concuerdan también con los de da Conceição, *et al.* [39] y Silva, *et al.* [40], que observaron que distintas composiciones y espesores de recubrimientos a base de alcohol polivinílico en semillas de maíz y semillas de lechuga, respectivamente, no afectaron al primer recuento de germinación ni al índice de velocidad de emergencia de las semillas de manera significativa.

Finalmente, respecto al efecto del almacenamiento en semillas recubiertas, Pereira, *et al.* [41] también informaron que las semillas de maíz con una alta calidad fisiológica inicial, tratadas con un insecticida, un fungicida y un polímero, se almacenaron durante seis meses sin verse afectada su calidad. Por su parte, Kunkur, *et al.* [42] informaron de que el tratamiento de semillas de algodón con un fungicida, un insecticida y un polímero mejoró el porcentaje de germinación después de nueve meses de almacenamiento (lo que concuerda con nuestras observaciones).

## Conclusiones

El recubrimiento de las semillas del cultivar de algodón BRS 286 con un *composite* con una fuente de boro, un fungicida, un insecticida y un polímero no produjo diferencias significativas en la calidad fisiológica de las semillas, ni antes ni después de su almacenamiento durante cuatro meses. Por el contrario, las semillas recubiertas tendieron a comportarse mejor que las semillas no tratadas. La adición de boro al *composite* de revestimiento (en concentraciones que oscilaron entre 0,05 y 0,3 mL de boro·kg<sup>-1</sup> de semillas) no tuvieron un efecto inmediato en la germinación, el vigor y la aparición de semillas, pero sí tuvieron un impacto beneficioso en el peso seco de la parte aérea antes del almacenaje (con un incremento de hasta el 31,5%). Las dosis más bajas también condujeron a un aumento de las longitudes de las partes aérea y radicular, tanto antes como después del almacenaje. Se encontró que la dosis de boro más alta (0,30 mL·kg<sup>-1</sup> de semillas) era perjudicial para el vigor de la semilla, aunque no se observaron síntomas visuales de toxicidad. El recubrimiento no afectó a la actividad del insecticida ni a la del fungicida, incluso después de cuatro meses de almacenamiento.

## Referencias

1. USDA. Cotton & Wool. <http://www.ers.usda.gov/topics/crops/cotton-wool/>
2. CONAB. *Acompanhamento da safra brasileira: grãos (V.2 - Safra 2014/15, N.12 - Décimo segundo levantamento, Setembro/2015)*; Companhia Nacional de Abastimento: Brazil, 2015; p 139.
3. Gupta, U.C. *Boron and its role in crop production*. CRC Press: Boca Raton, Fla., 1993; p 237 p.
4. Fontes, R.L.; Medeiros, J.F.; Neves, J.C.; Carvalho, O.S.; Medeiros, J.C. Growth of Brazilian cotton cultivars in response to soil applied boron. *J. Plant Nutr.* **2008**, *31*, 902-918.
5. Baudet, L.; Villela, F.A. Armazenamento de sementes. In *Sementes: fundamentos científicos e Tecnológicos*, 2<sup>nd</sup> ed.; Peske, S.T.; Lucca Filho, O.A.; Barros, A.C.S.A., Eds. UFPel: Pelotas, Brazil, 2006; pp 427-472.
6. Menezes, N.L.; Villela, F.A. O Potencial de armazenamento de cada semente. *SEED News* **2009**, *13*, 22-25.



X CONGRESO IBÉRICO DE AGROINGENIERÍA  
X CONGRESSO IBÉRICO DE AGROENGENHARIA

3 – 6 septiembre 2019, Huesca - España

7. Funguetto, C.I.; Pinto, J.F.; Baudet, L.; Peske, S.T. Desempenho de sementes de arroz irrigado recobertas com zinco. *Revista Brasileira de Sementes* **2010**, *32*, 117-123.
8. Nunes, J.C. Tratamento de semente-qualidade e fatores que podem afetar a sua performance em laboratório. *Londrina: Syngenta Proteção de Cultivos Ltda* **2005**.
9. Brasil Mapa/ACS. *Regras para análise de sementes*. Brasil - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária: Brasília, Brasil, 2009; p 399.
10. Baalbaki, R. Seed vigor testing handbook. **2009**.
11. Marcos Filho, J. Teste de envelhecimento acelerado. In *Vigor de sementes: conceitos e testes*, Krzyzanowski, F.C.; Vieira, R.D.; França-Neto, J.B., Eds. ABRATES: Londrina, Brazil, 1999; pp 1-24.
12. Nakagawa, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In *Vigor de sementes: conceitos e testes*, Krzyzanowski, F.; Vieira, R.; França Netto, J., Eds. ABRATES: Londrina, Brazil, 1999; pp 1-24.
13. Streck, E.V.; Kämpf, N.; Dalmolin, R.S.D.; Klamt, E.; Nascimento, P.d.; Schneider, P.; Giasson, E.; Pinto, L. *Solos do Rio Grande do Sul*. UFRGS, Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia: Porto Alegre, Brazil, 2008; p 222.
14. Maguire, J.D. Speed of germination – aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Sci.* **1962**, *2*, 176-177.
15. Nakagawa, J.; Vieira, R.D.; de Carvalho, N.M. Testes de vigor baseados na avaliação das plântulas. *Testes de vigor em sementes. Jaboticabal: FUNEP* **1994**, 49-85.
16. dos Santos, L.D.C.; Benett, C.G.S.; Silva, K.S.; da Silva, L.V. Germinação de diferentes tipos de sementes de *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã. *Bioscience Journal* **2011**, *27*.
17. Ohse, S.; Marodim, V.; Dos Santos, O.S.; Lopes, S.J.; Manfron, P.A. Germinação e vigor de sementes de arroz irrigado tratadas com zinco, boro e cobre. *Revista da FZVA* **2001**, *7/8*, 41-50.
18. Kappes, C.; Golo, A.L.; de Carvalho, M.A.C. Doses e épocas de aplicação foliar de boro nas características agrônômicas e na qualidade de sementes de soja. *Scientia Agraria* **2008**, *9*, 291-297.
19. Leite, R.F.C. Rendimento e qualidade de sementes de arroz irrigado em função da adubação com boro. *Revista Brasileira de Sementes* **2011**, *133*, 785-791.
20. Wazilewski, W.T.; Gomes, L.F.S. Boro aplicado via semente em girassol. *Cultivando o Saber* **2009**, *2*, 137-142.
21. Bonacin, G.A.; Rodrigues, T.d.J.; Cruz, M.; Banzatto, D.A. Características morfofisiológicas de sementes e produção de girassol em função de boro no solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* **2008**, *13*, 111-116.
22. Farinelli, R.; Penariol, F.G.; de Souza, F.S.; Piedade, A.R.; Lemos, L.B. Características agrônômicas e qualidade fisiológica de sementes de cultivares de feijão adubados via foliar com cálcio e boro. *Científica* **2008**, *34*, 59-65.
23. Farooq, M.; Nawaz, A.; Iqbal, S.; Rehman, A. Optimizing the Boron Seed Coating Treatments for Improving the Germination and Early Seedling Growth of Fine Grain Rice. *International Journal of Agriculture & Biology* **2012**, *14*.
24. Rehman, A.-u.; Farooq, M. Boron application through seed coating improves the water relations, panicle fertility, kernel yield, and biofortification of fine grain aromatic rice. *Acta physiologiae plantarum* **2013**, *35*, 411-418.
25. de Oliveira, J.P.M.; Bueno Scivittaro, W.; Vargas Castilhos, R.M.; Oliveira Filho, L.C.I. Adubação fosfatada para cultivares de mamoneira no Rio Grande do Sul. *Ciência Rural* **2010**, *40*, 1835-1839.
26. Shabaz, M.K.; Ali, H.; Sajjad, M. Effect of Seed Coating with Boron and Zinc of Zea mays for Various Yield Traits. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci* **2015**, *15*, 1304-1311.
27. Ashagre, H.; Hamza, I.A.; Fita, U.; Nedesa, W. Influence of boron on seed germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.). *African Journal of Plant Science* **2014**, *8*, 133-139.
28. Farooq, M.; Wahid, A.; Siddique, K.H.M. Micronutrient application through seed treatments: a review. *Journal of soil science and plant nutrition* **2012**, *12*, 125-142.
29. Vieira, E.H.N.; Moreira, G.A. Peletização de sementes de arroz. In *Comunicado Técnico*, Embrapa Arroz e Feijão: Santo Antônio de Goiás, Brazil, 2005; Vol. 111, p 2.
30. Funguetto, C.I. Recobrimento de sementes de arroz irrigado com zinco e polímero. *Norte Científico* **2011**, *2*, 80-92.

X CONGRESO IBÉRICO DE AGROINGENIERÍA  
X CONGRESSO IBÉRICO DE AGROENGENHARIA

3 – 6 septiembre 2019, Huesca - España

31. Lemes, E.S.; Tunes, L.M.d.; Almeida, A.d.S.; Meneghello, G.E.; Oliveira, S.d.; Muniz, M.F.B. Response of wheat seeds to zinc application during storage. *Ciencia e investigación agraria* **2015**, *42*, 21-22.
32. de Tunes, L.M.; Rodrigues, D.B.; Gadotti, G.I.; da Silva Almeida, A.; Gewehr, E.; Radke, A.K. Health and quality of zinc coated wheat seeds during storage. *Bioscience Journal* **2016**, *32*.
33. Araujo Rufino, C.; Tavares, L.C.; Brunes, A.P.; Lemes, E.S.; Villela, F.A. Treatment of wheat seed with zinc, fungicide, and polymer: seed quality and yield. *Journal of Seed Science* **2013**, *35*, 106-112.
34. Arjmand, H.S.; Abarghoeei, G.H.B.; Ghorbanpour, M.; Sharafi, S. Effect of zinc coated during storage on the seed quality of barley. *International Journal of Farming and Allied Science* **2014**, *3*, 845-850.
35. Schwerz, F.; Caron, B.O.; Kulczynski, S.M.; Elli, E.F.; Oliveira, D.M.d.; Szareski, V. Physiological performance of white oat seeds coated with zinc. *Científica* **2015**, *43*, 341.
36. Yagi, R.; Simili, F.F.; Araújo, J.C.d.; Prado, R.d.M.; Sanchez, S.V.; Ribeiro, C.E.R.; Barretto, V.C.d.M. Aplicação de zinco via sementes e seu efeito na germinação, nutrição e desenvolvimento inicial do sorgo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* **2006**, *41*, 655-660.
37. Pereira, C.E.; Oliveira, J.A.; Evangelista, J.R.E.; Botelho, F.J.E.; Oliveira, G.E.; Trentini, P. Desempenho de sementes de soja tratadas com fungicidas e peliculizadas durante o armazenamento. *Ciência e Agrotecnologia* **2007**, *31*, 656-665.
38. de Lima, L.B.; da Silva, P.A.; Guimarães, R.M.; Oliveira, J.A. Peliculização e tratamento químico de sementes de algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.). *Ciênc. agrotec.* **2006**, *30*.
39. da Conceição, P.M.; Duarte Vieira, H. Qualidade fisiológica e resistência do recobrimento de sementes de milho. *Revista Brasileira de Sementes* **2008**, *30*, 048-053.
40. Silva, J.B.C.; Santos, P.E.; Nascimento, W.M. Desempenho de sementes peletizadas de alface em função do material cimentante e da temperatura de secagem dos péletes. *Horticultura brasileira* **2002**, *20*, 67-70.
41. Pereira, C.; Oliveira, J.A.; Evangelista, J.R.E. Qualidade fisiológica de sementes de milho tratadas associadas a polímeros durante o armazenamento. *Ciência e Agrotecnologia* **2005**, *29*, 1201-1208.
42. Kunkur, V.; Hunje, R.; BiradarPatil, N.; Vyakarnahal, B. Effect of seed coating with polymer, fungicide and insecticide on seed quality in cotton during storage. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences* **2010**, *20*.