



ARTÍCULO ORIGINAL

CU-ID: <https://cu-id.com/2284/v12n3e05>

Impacto del tratamiento pregerminativo de semillas de frijol negro con extractos derivados de Vermicompost reciclados

Impact of the Pregerminative Treatment of Black Bean Seeds with Extracts Derived from Recycled Vermicompost

Dr.C. Mayra Arteaga Barrueta^{II}, Ing. Dayán Alejandro Mederos González^I, MSc. José Antonio Pino Roque^{II}, Saturnina Mesa Rebato^I, MSc. Ma. Margarita Díaz De Armas^I, MSc. Helen Veobides^I, Dr.C. Iván Castro Lizaso^I

^I Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Agronomía, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

^{II} Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

RESUMEN. De la elaboración de los extractos de vermicompost de estiércol vacuno probados como bioestimulantes foliares, se obtiene como subproducto un residuo sólido que aún continúa con actividad biológica, pero aún no se le han explotado sus potencialidades, lo cual conseguiría derivar un proceso de obtención más eficiente con su reciclado. Estos extractos pudieran ser manejados en la mejora de la calidad de las semillas. Ante estos antecedentes, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del tratamiento pre-germinativo de semillas con extractos de vermicompost reciclados, sobre la calidad física y fisiológica en frijol negro (*Phaseus vulgaris* L). Se valoró el efecto bioestimulante de diluciones de bajas concentraciones de extractos residuales reciclados de la segunda y tercera extracción (E2 y E3) en la aplicación directa sobre las semillas. Para el estudio del tratamiento pre-germinativo de las semillas de frijol negro se determinó la calidad física y fisiológica de las mismas en la primera etapa de crecimiento (fase germinativa y primera vegetativa) del cultivo. Los resultados obtenidos mostraron en condiciones semicontroladas de laboratorio, que la calidad física y fisiológica de las semillas tratadas se modificó positivamente e indicaron la posibilidad de su utilización como bioestimulador de la etapa pre-germinativa de semillas. Se demuestra la posibilidad de introducir los E260, E240 y E330 en la cadena productiva como promotores del proceso germinativo y de crecimiento en la primera etapa vegetativa como mejoradores de la calidad de las semillas de frijol negro, lo que puede repercutir en la sostenibilidad del proceso productivo del cultivo.

Palabras clave: sólido residual, bioestimulante, estiércol vacuno, reciclado.

ABSTRACT. From the production of vermicompost extracts of bovine manure tested as foliar biostimulants, a solid residue whose potential has not been exploited is obtained as a by-product that still continues with biological activity, which would lead to a more efficient production process with its recycling. These extracts could be managed to improve the quality of the seeds. Given these antecedents, the objective of the present work was to evaluate the effect of the pre-germination treatment of seeds with recycled vermicompost extracts, on the physical and physiological quality in black beans (*Phaseus vulgaris* L). The biostimulant effect of dilutions of low concentrations of recycled residual extracts from the second and third extraction (E2 and E3) in direct application on the seeds was assessed. For the study of the pre-germination treatment of black bean seeds, the physical and physiological quality of the seeds was determined in the first growth stage (germination and first vegetative phase) of the crop. The results obtained showed under semi-controlled laboratory conditions that the physical and physiological quality of the treated seeds was positively modified and indicated the possibility of its use as a biostimulator of the pre-germination stage of seeds. The possibility of introducing E260, E240 and E330 into the production chain as promoters of the germination and growth process in the first vegetative stage as quality enhancers of black bean seeds is demonstrated, which may affect the sustainability of the productive process of the crop.

Keywords: Residual Solid, Bioestimulant, Bovine Manure, Recycled

¹ Autora para correspondencia: Mayra Arteaga Barrueta, e-mail: mayra@unah.edu.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-0591-2063>:

Recibido: 16/05/2021.

Aprobado: 14/06/2022.

INTRODUCCIÓN

La política rectorada del Ministerio de la Agricultura de Cuba da un tratamiento priorizado a garantizar el soporte tecnológico para la conservación y el uso de los recursos fito-genéticos, así como para mejorar la calidad de las semillas para incrementar los rendimientos del sector agrícola (Gaceta Oficial de la República de Cuba, 2020). Actualmente se desarrolla un amplio plan inversionista de modernización que incluye plantas beneficiadoras de semillas donde se incorpora insumos que optimicen su calidad y la rentabilidad de los proceso productivos de los cultivos, lo cual garantiza la sostenibilidad de la producción Far More Technology (2017); aspecto que se generaliza en las compañías comercializadoras de semillas mundiales como opciones para poner a disposición de los productores semillas con calidad y con los agregados necesarios que garantizan la fluidez de la producción (OECD/FAO, 2020).

Introducir esta alternativa en la producción de frijol negro (*Phaseus vulgaris* L), el cual constituye un alimento de alta demanda popular sería ventajoso, pues en Cuba se siembran aproximadamente más de 45 000 ha/año de frijol negro, sin embargo, la producción no supera las 10 000 toneladas (ONE, 2020). En momentos en que el país, precisa incrementar la producción de alimentos, reducir importaciones con la reducción de los costos de las producciones junto al recrudescimiento del bloqueo y la minimización del impacto del cambio climático (Abadia, 2018).

El tratamiento pregerminativo de las semillas con bioproductos obtenidos de residuos naturales compostados sería ventajoso para la activación del proceso de germinación al asegurar una emergencia más rápida y/o uniforme tras la siembra y la conservación de las mismas durante su almacenaje, facilitando un cultivo con un mejor control de enfermedades. La introducción de esta tecnología se encuentra entre las pri-

oridades actuales del grupo de investigación Materia Orgánica y bioestimulantes (MOBI), del Dpto. de Química de la Universidad Agraria de La Habana, con el fin de diversificar y hacer más óptimas las vías de aplicación de los agromateriales. A partir de tales antecedentes el presente trabajo se elaboró con el objetivo de evaluar el efecto de extractos derivados de vermicompost reciclados sobre la calidad de semillas y plántulas de frijol negro (*Phaseus vulgaris* L) Var. ICA Pijao, a través de tratamientos pregerminativos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron semillas certificadas de frijol negro (*Phaseus vulgaris* L) de la variedad ICA Pijao línea 32 mejorada, siendo una de las principales cultivares comerciales de frijol negro en Cuba (Minag, 2000). Fueron obtenidas a través del Programa de Mejoramiento Genético del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). Presentan un porcentaje de germinación de un 86%, de humedad de un 12% y masa promedio de 19,3 – 20 g evaluado para 100 semillas. Se desinfectaron las semillas con disolución de hipoclorito de sodio al 1%, para realizar su evaluación.

Los extractos utilizados fueron obtenidos a partir del proceso de extracciones sucesivas del vermicompost de estiércol vacuno, referidos por (Otaño, 2017), donde se integraron metodologías de extracción antes establecidas (Caro, 2004; Calderín, 2009; Hernández, 2010; Mesa, 2011), citadas por dicha autora (Otaño, 2017). Aportó las propiedades físico-químicas del vermicompost (Vc) y sólidos residuales de la primera (SR1) y segunda extracción (SR2), utilizados como materia prima, para obtener extractos reciclados (E1, E2, E3), las que se reflejan en la Tabla 1. En este trabajo se adiciona una nueva formulación de extracto obtenido de la combinación de iguales volúmenes de los extractos E1, E2, E3, cuya mezcla se denotó como Mz4.

TABLA 1. Caracterización físico-química de los extractos obtenidos en tres extracciones sucesivas del vermicompost de estiércol vacuno (E1, E2, E3 y mezcla de combinaciones (Mz4)

Extractos	pH	CE ₁ mS.cm	TDS ₁ d.L	Salt %	CIC ₁ meq.L	COT %	CAH/CAF %	E4/E6	IH %	IE %
E1	8,18b	7,99c	5,69a	0,55a	279,35b	38,2b	11,53b	6,11b	29a	28,11a
E2	8,37a	8,11b	4,07b	0,26b	348,71a	45,98a	14,73a	5,86c	26c	22,87b
E3	8,52a	8,47a	2,98c	0,13c	334,74a	34,76d	5,81c	7,25a	28a	28,21a
Mz 4	8,41a	8,32a	3,52b	0,16c	333,45	39,78c	10,56b	6,26b	27,76b	27,31b
Es	0,001	0,012	0,013	0,010	0,12	0,026	0,1	0,025	0,012	0,014

Las características de estos extractos se corresponden con los rangos establecidos en la literatura para productos de origen orgánico y grado de humificación a partir de un 25% según (De Liñán, 2019), utilizados como bioestimuladores de los cultivos, los cuales favorecen consecuentemente un aporte de nutrientes. Se destaca los valores de pH que muestran su carácter básico derivado de su proceso de extracción. Aspecto que no es preocupante debido a que sus aplicaciones se realizan a altas diluciones en agua, disminuyendo a valores próximos a la neutralidad su pH, lo cual evita daños a las semillas tratadas. El contenido de Na, K, Ca y P adecuado lo cual tiene un efecto beneficioso en el aporte de nutrientes al cultivo de frijol (Arteaga et al., 2018). El porcentaje de carbono orgánico total y humificado se corresponde con el rango entre un 50% establecidos en los extractos humificados de acuerdo a lo referido en el Vademecum de (De Liñán, 2019); el cual señala para estos productos un grado de humificación y madurez elevado de la materia humificada, esto se corresponde con los valores de los coeficientes óptico E4/E6 y los índices de evolución (IE) de los extractos encontrados sugieren un grado de condensación y estabilidad (IE) superior de la materia humificada (Tabla 1), demostrando la calidad de la materia orgánica presente en los extractos (Caro, 2004; Du Jardin, 2015). Como se puede apreciar en la Tabla 1, las propiedades de la mezcla formada (E4), no se diferencian significativamente de sus extractos de

origen, cumpliendo también con los requisitos establecidos para la categoría de bioestimulante (De Liñán, 2019), los que pueden ser utilizados en el tratamiento de semillas a altas diluciones.

Los experimentos se llevaron a cabo en los laboratorios del Departamento de Química de la Facultad de Agronomía de la Universidad Agraria de La Habana. El procedimiento seguido para la realización de la investigación consta de tres etapas fundamentales: (I) tratamiento pre-germinativo de las semillas. (II) evaluación calidad física y fisiológica de las semillas tratadas a las 3 h, 6 h y 24 h de ser inhibidas (III) evaluación del efecto de semillas tratadas con los extractos en la primera etapa de la fase vegetativa del cultivo (Fig. 1). La selección de las diluciones de los extractos utilizadas, se tuvo en cuenta las referencias dadas para la extracción primaria del vermicompost

de estiércol vacuno en el cultivo de tomate y frijol negro citados por (Arteaga et al., 2018).

De acuerdo con esto, se constituyeron los tratamientos que se deben a la interacción de los efectos del origen (SR) del extracto reciclado (1ra, 2da o 3ra extracción), dilución utilizada (1:30, 1:40 o 1:60 V: V) y tiempo de inmersión de las semillas donde ocurrieron las máximas absorciones (3h, 6h, 16h y 24h), los que se reflejan en la Figura 1. Los tratamientos se ubicaron en una campana con iluminación constante, siguiendo un diseño experimental totalmente aleatorizado como se refleja en la Figura 1. Se añadieron 20 semillas previamente lavadas en el momento del montaje con agua destilada hervida y de masa aproximada de cuatro gramos en frascos de cristal con capacidad de 250 mL que contienen 100 ml de los tratamientos.

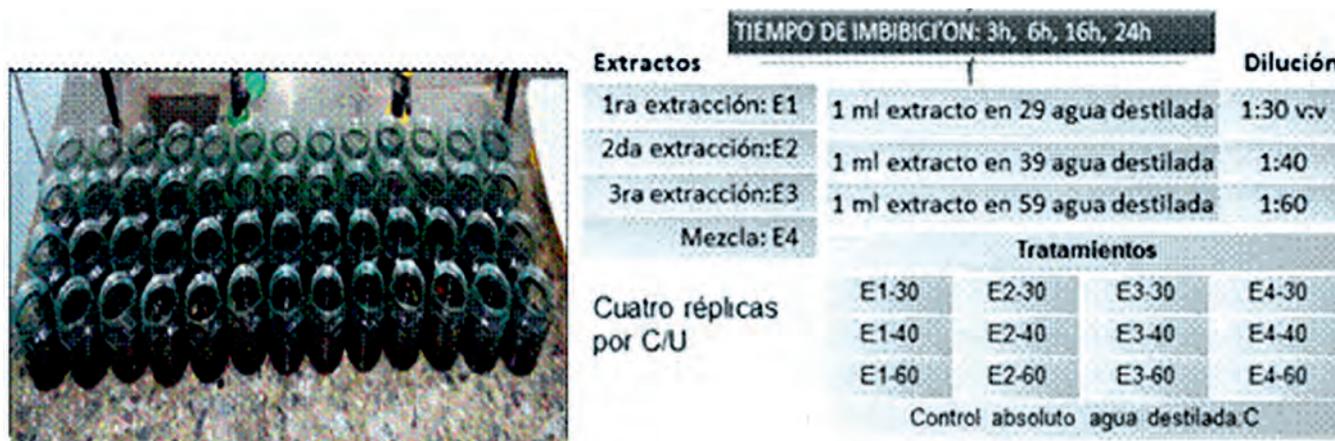


FIGURA 1. Montajes y diseño de los tratamientos.

Los indicadores de calidad para evaluar la calidad física y fisiológica de las semillas tratadas aparecen descritos en la Tabla 2, se integraron según referencias aportadas por Araméndiz *et al.* (2017); FAO (2017); Fiant *et al.* (2018); ISTA (2020).

TABLA 2. Indicadores de calidad física y fisiológica evaluados en las semillas tratadas

Indicador	PROCEDIMIENTO
	CALIDAD FISICA
Tasa de imbibición (TI) (valor medio absorbido por un gramo de semilla en el intervalo de tiempo de una hora, en una dinámica durante 24 h)	Se trataron por sumersión en vasos desechables de 250 ml, los cuales se colocaron de manera aleatoria en la meseta del laboratorio a temperatura ambiental del mismo, en un tiempo de inmersión: 3 h, 6 h, 16 h, 24 h en los extractos referidos. Se realizó a partir de determinar la masa de las semillas para 100 semillas por intervalo de tiempo en una balanza Analítica Sartorius AG Made by Sartorius Se determinó mediante la diferencia de la masa adquirida por las semillas acumulada entre 1:30 – 2:00 horas y la inicial, evaluando en los intervalos de 3, 6, 16 y 24 h.
Masa seca y% de humedad de las semillas Coeficiente hídrico a plena turgencia (mt) de las semillas (CH)	Método de gravimétrico por volatilización Estufa (P/G 2007 ba) a 60 °C durante 72 horas. % H: (masa fresca – masa seca / masa fresca) * 100. CH=(mf– ms/ms) x100
Contenido de cenizas	(1,0 g ± 0,0001 g) a una temperatura de 525 °C en un horno tipo mufla (SX2) durante 4 horas. M Cenizas (g) = m inicial – m final
Tiempo de cocción%	Hornilla eléctrica con 100 frijol /tratamiento con 3 réplicas en agua Comprobación c/ 5mntos.de la cocción Frijol blando es atravesado por aguja. Tiempo: (disminución %): más del 50% de los frijoles lo alcanza
	CALIDAD FISIOLÓGICA
Pruebas de vigor indirectas	Obtener los lixiviados electrolíticos para cada tratamiento Se lavaron y colocaron en inmersión con agua destilada hervida en una relación agua/ semillas de 15 ml.g-1S, después de 24 h a temperatura ambiente.

Indicador	PROCEDIMIENTO
CALIDAD FISICA	
Conductividad eléctrica masal (CE), sólidos disueltos totales (STD) y% salinidad	Conductímetro DDSJ-308A Conductimetría directa
pH del lixiviado	pH metro PHSJ-3F
Pruebas de vigor directas	
Tasa respiratoria de las semillas	Método de Respirométrico: En un sistema formado por un erlenmeyer 250 ml con 50 ml de agua se le introduce un tubo de ensayo grueso de forma invertida que contiene 10 semillas de frijol sujeta con un tapon de gasa. Observar y marcar la altura del agua en el tubo cada 24h. La cantidad de agua que entra en el tubo es directamente proporcional a la cantidad de O2 consumido, la medición del volumen de agua permite medir la tasa de respiración de las semillas.
Pruebas de germinación estándar	Método de los tabacos con papel de filtro humedecido durante 15 días en la campana del laboratorio con luz directa durante 24 h, se establecieron cinco réplicas cada tratamiento.
índice de envejecimiento (IE)	IE = (PG inicial - PG post EA) / PG inicial
Poder germinativo (PG)	PG = No. Semillas germinadas / No. semillas totales puestas a germinar X 100
Tiempo medio de emergencia (TME).	momento en que alcance 50 + 1 semillas germinadas/días del conteo
Índice de velocidad de germinación (IVG)	IVG= $\Sigma(D_i D_g)/i$, donde: D _i (N0. Semillas germinadas en el día), D _j (N0. Semillas germinadas en el conteo desde el inicio de la puesta a germinar), i (No. de días al momento del conteo desde la puesta a germinar)
Conteo de plantas	normales, anormales y semillas germinadas y no germinadas.
índices de crecimientos	
Tasa de crecimiento relativo TCR (g/(g. día)	TCR = (ln ms2 - ln ms1) / (T2 - T1)
Tasa absoluta crecimiento TAC (g. día)	TAC = ms2 - ms1 / (T2 - T1) ms: masa seca T: tiempo

La valoración económica cualitativa se evaluó a partir de los beneficios aportados por la aplicación del extracto sobre la base de la extrapolación de los efectos de la actividad biológica del extracto de la E1 (primera extracción) en su acción bioestimulante en la duración de las etapas de germinación y primera vegetativa del cultivo de frijol negro, así como en la calidad de las semillas y plántulas obtenidas (biomasa formada), según referencias (Arteaga et al., 2018).

Los análisis estadísticos de los resultados se realizaron con el programa estadístico Statgraphics 5.1 y se les aplicó un de análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de contraste múltiple de Tukey al 5%. Se realizaron transformaciones ($\sqrt{n+1}$) a las variables que lo requerían: conteo de número de semillas germinadas y plántulas. Se establecieron interacciones entre el origen del extracto (número de extracciones E1, E2 y E3), diluciones (1:30, 1:40 y 1:60 V: V) y tiempo de inmersión de las semillas (3,6 y 24 h), para determinar el factor que más incide sobre el% de humedad de las semillas, la germinación de las mismas y los índices de crecimiento de las plántulas obtenidas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tasa de imbibición de las semillas alcanzada a partir del valor medio absorbido por un gramo de las mismas en el intervalo de tiempo de una hora, para cada tratamiento en una dinámica durante 24 h se refleja en la Figura 2.

En la dinámica de la tasa de imbibición obtenida para cada tratamiento, se pudo apreciar claramente el patrón trifásico referido para dicho proceso, el cual refleja en términos generales la relación proporcional existente entre la tasa de imbibición y el tiempo de inmersión de las semillas (González et al., 2018).

En la Fase I (imbibición) de manera general ocurre un incremento rápido de la absorción de la disolución de imbibición ($g \cdot abs \cdot h^{-1} \cdot s^{-1}$),

con mayor manifestación en los extractos E2 y E3 (2 - 2,25) con relación a E1, E4 (<0,1) y el control agua ($\approx 0,1$). Por lo general, todos los extractos con diluciones más altas mostraron mayor expresión en la absorción (1:40 y 1:60), con excepción de 1:30 para E1. Parece ser que las variaciones encontradas entre los tratamientos pudieran estar dadas por diferencias en el potencial hídrico entre la semilla y la solución de imbibición dependiente de cada extracto por su naturaleza y composición muy heterogénea. Considerando que los extractos al obtenerse con extracciones consecutivas degradativas, pueden extraer fracciones con diferente complejidad, composición y carácter hidrofílicas, entre ellas los coloides presentes como proteínas y sustancias humificadas (Nardi et al., 2016).

La Fase II (meseta) está caracterizada por la activación del metabolismo y movilización de los nutrientes con una duración entre 4 - 8 h (Morales et al., 2017). Sin embargo, para los tratamientos con extractos alcanzó 12 h y se manifestó de forma variable entre ellos (Figura 2); aspecto que puede corresponder con lo antes explicado. La Fase III se manifiesta más claramente para E4, etapa donde refieren que comienza el proceso de germinación de la semilla. De manera general los extractos mezclas E4 son superiores, seguido de E3 y E1 y el control.

En la Figura 3 se aprecia la humedad adquirida por las semillas en los tres períodos de imbibición de manera general para las semillas embebidas y el control se alcanzan valores menores cercanos a un 20% con excepción del E230 a las 24 h. Son superiores a los referidos por (Maqueira et al., 2017), que obtuvieron imbibiciones con fácil adsorciones en 36 variedades diferentes de frijoles en un 10% humedad, para niveles inferiores a éste las testas de las semillas se tornaron impermeables, por lo que deben ser conservados con humedades cercanas al 12 - 14%. Las imbibiciones entre 3 - 6 h para los extractos E3 y E4 en todas las diluciones cumplen esta condicionante.

Fase I II III

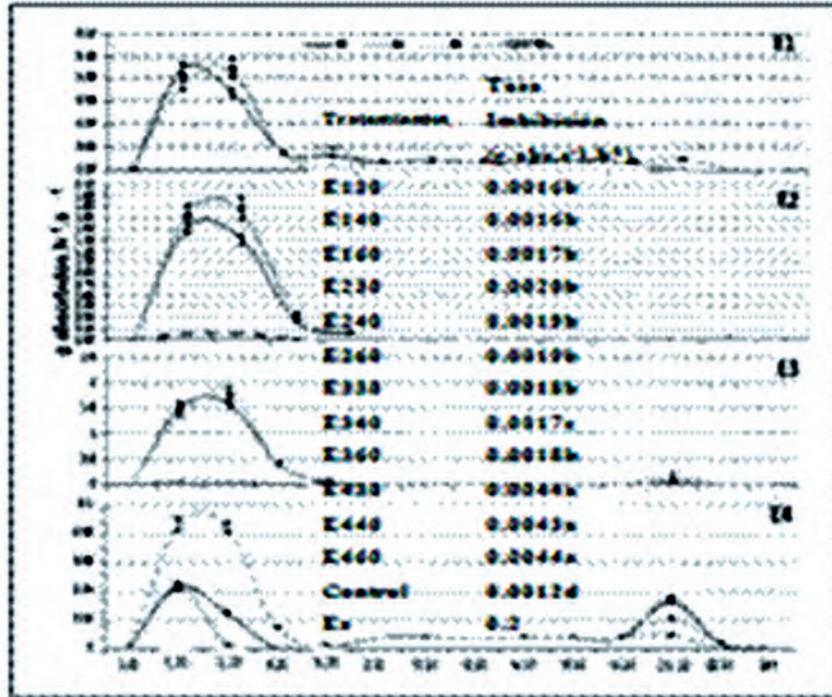


FIGURA 2. Dinámica de la tasa de absorción de las semillas en su imbibición durante 24 horas de las semillas tratadas.

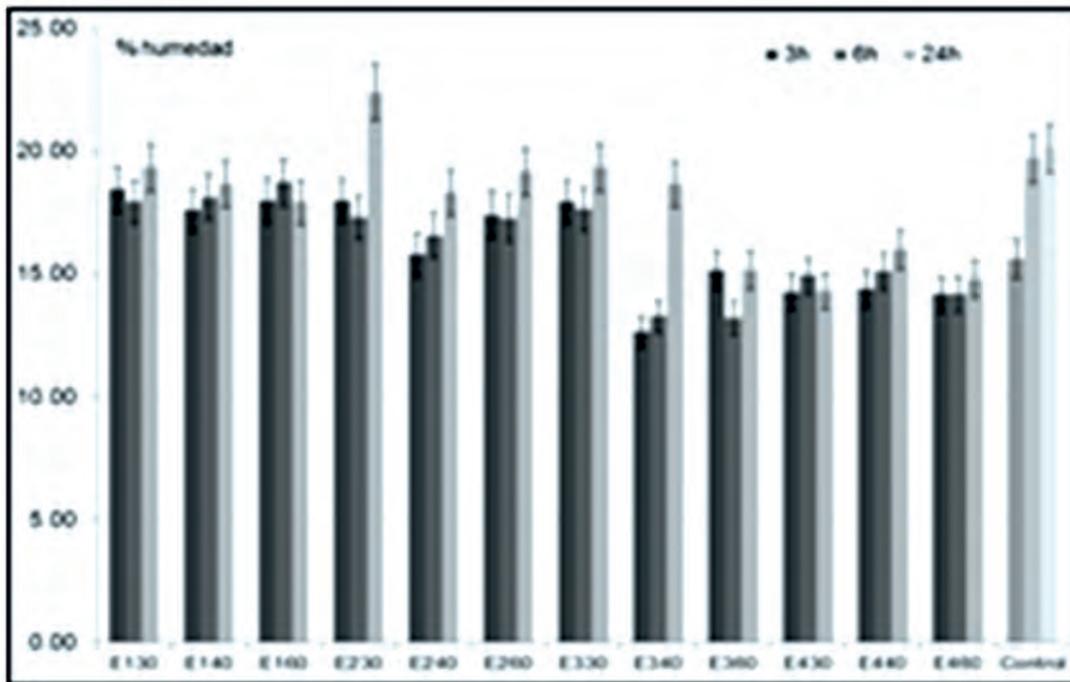


FIGURA 3. Valores medios de la humedad% de las semillas tratadas en tres momentos.

De acuerdo con esto, sería recomendable para realizar el pre tratamiento por imbibición de las semillas hacer un control de la humedad de las semillas previamente, pues este parámetro sugiere el éxito de un período de almacenamiento adecuado con un deterioro mínimo para lograr mayor productividad de las semillas cuando ocurra su siembra (Maqueira et al., 2017), aspecto de suma importancia para países como Cuba donde la

humedad relativa del aire es elevada (80–81%), que humedecen el grano. La capacidad hidrolítica (CH) se mantuvo superior en los extractos (35 – 40%), la cual se incrementó indistintamente con la dilución con respecto al Control (32%).

Los valores medios del pH, la CE y los SDT en los lixiviados en diferentes momentos de inmersión estudiados para cada tratamiento se reflejan en la Figura 4.

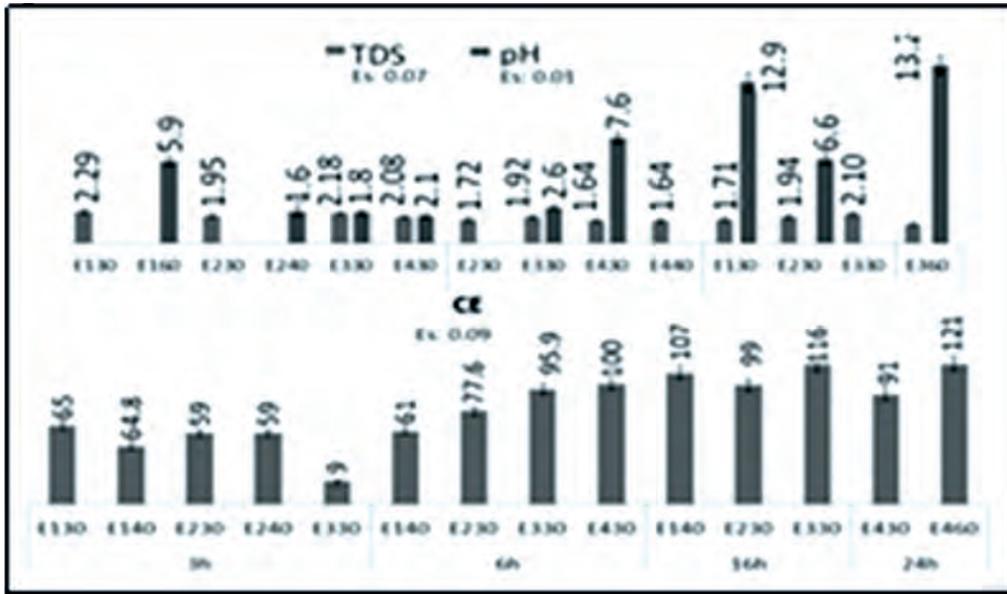


FIGURA 4. Valores medios de la conductividad eléctrica (CE), pH, sólidos disueltos totales (TDS) de los lixiviados de las semillas tratadas en tres tiempos de inmersión diferentes.

A las 3 h de inmersión los tratamientos con extractos mantienen los valores medios de pH de entre 6 y 7 (rango de neutralidad), sin diferenciarse del control con agua bidestilada. Sin embargo, para el E1 en las diluciones más concentradas se acercan más 6, de la misma forma para cuando se aumenta el tiempo de imbibición para 6 y 16 h, con excepción de E230 y E330 principalmente a las 6 h. De acuerdo con esto según lo asentado en la literatura Araméndiz *et al.* (2017), sobre los exudados de frijoles, los valores de pH < 5,8 caracterizan semillas que tiene afectado su vigor, refieren como una posible causa la baja capacidad de transporte de proteínas en la membrana celular para controlar la exportación de electrolitos. Se corresponden los resultados del pH con los de la conductividad eléctrica CE (300-600 mS·cm⁻¹), SDT (150- 300 Mg·L⁻¹) y %

salinidad (0.02 – 0.03) de los exudados, con valores que al incrementarse para los tratamientos antes mencionados tienden hacia la acidez, manteniéndose en rangos no perjudiciales significativamente para las semillas (Araméndiz *et al.*, 2017).

Los valores de CE a las 16 h de imbibición pudieran llegar a afectar el vigor y la viabilidad de las semillas, por lo que este tratamiento de la semilla no sería recomendable, considerando que la CE es considerada una prueba de vigor indirecta efectiva que sugieren alteraciones en las membranas citoplasmáticas, en estadios tempranos del deterioro de las semillas. Estos resultados indican como más promisorio el E2 y E3 a diluciones de 1:40 y 1:60 v: v con 3 h de inmersión.

En la Figura 5, se presenta el contenido de masa seca en cada tratamiento en los tres períodos de inmersión de las semillas.

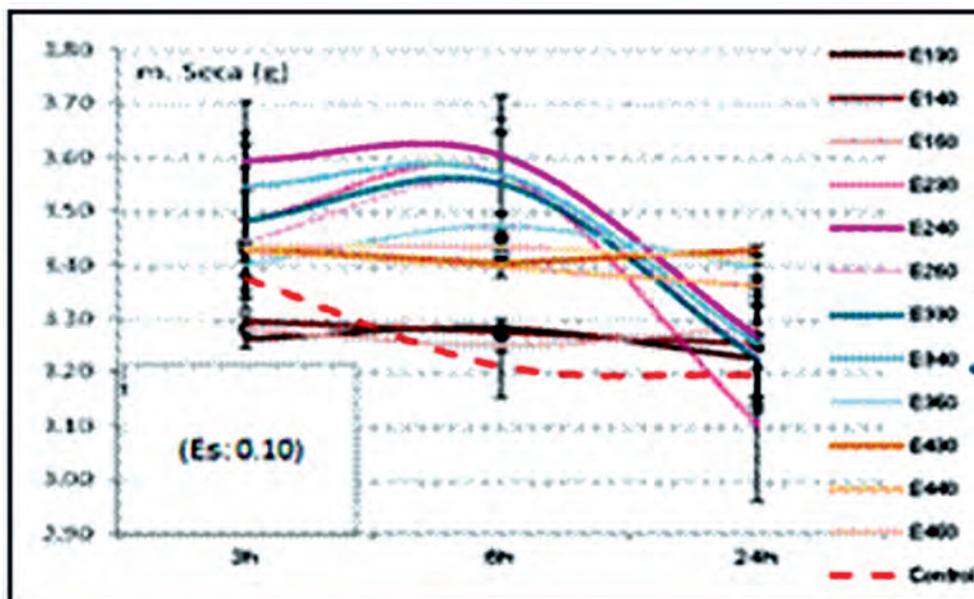


FIGURA 5. Valores medios de la masa seca acumulada para las semillas en los tratamientos con diferentes tiempos de inmersión.

Al analizar los valores medios de las masas secas obtenidas en cada tratamiento en los diferentes momentos de inmersión, se encontraron diferencias significativas entre el control y los de extractos de vermicompost y entre estos últimos. Se aprecia que los extractos E2 y E3 son los que más aportan formación de biomasa en las semillas en la etapa de 3 – 6 h, lo cual se corresponde con los resultados anteriores. La mayor masa encontrada es una de las ventajas que los fundamentan y que sugieren el superior contenido de reservas en las semillas de estos tratamientos más promisorios, que pudieran suministrar para el crecimiento inicial y el establecimiento de las plántulas (Ruiz et al., 2018).

Siguiendo semejante patrón: E240 > E340 > E330 > E260 > E360 > E460 > E440 > E460 > Control

A partir de las 6 h de inmersión los tratamientos que adquirieron mayor biomasa, la disminuyen significativamente a valores cercanos al control a los 24 h. Sin embargo, a pesar de esto, la

masa acumulada sigue siendo mayor para los tratamientos más promisorios de E2 y E3 con relación al resto de los extractos y el control (Figura 5). Según (Maqueira et al., 2017), las semillas pueden absorber hasta el 60% de su masa fresca. De acuerdo con esto, los valores medios obtenidos para todos los tratamientos se encontraron dentro de este rango entre 50 – 51,8% de su masa promedio (Figura 1). En las tres primeras horas de inmersión las semillas todos los tratamientos adquirieron el porcentaje en masa (0,3 – 1,5%) que pueden absorber y con esto su máxima hidratación, lo que sugiere también como tratamientos más recomendables.

El contenido de cenizas de las semillas (Figura 6), puede corroborar y fundamentar aún más los resultados obtenidos con anterioridad. Los valores medios se corresponden con los referidos para granos de este cultivo (ISTA, 2020). De acuerdo con lo antes expuesto, el contenido de cenizas se ve incrementado para todos los tratamientos con relación al control y en su generalidad desde las primeras tres horas cumplen con el patrón obtenido, para E2 y E3 fundamentalmente en las diluciones E240, E260 y E330, seguidos de E460.

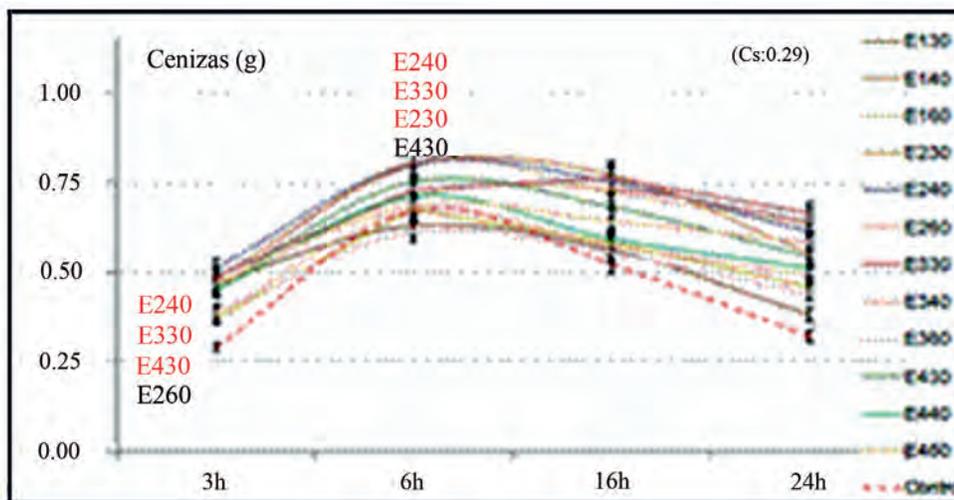


FIGURA 6. Valores medios del contenido de cenizas (g) en cada uno de los tratamientos y tiempo de imbibición.

Parece ser que en alguna medida entran a las semillas componentes de los extractos incluida la parte mineral. Su bioestimulación en la semilla comprende una serie de procesos metabólicos y morfogenéticos cuyo resultado final tienen gran repercusión es la germinación de las semillas, al concebir que el embrión se transforme en una plántula que sea capaz de valerse por sí misma y capaz de enfrentar mejor los procesos de estrés a que puede estar sometido durante su desarrollo.

Todos los resultados discutidos hasta el momento de los indicadores físicos de las semillas evaluados indican un efecto positivo en la calidad de las semillas tratadas, con solo 3 h de inmersión siendo muy ventajoso a los efectos prácticos, fundamentalmente para los extractos E2 y E3 en dilución 1:30 y el E4 en todas las diluciones. De acuerdo con esto, las evaluaciones de los indicadores fisiológicos se realizarán para 3 h de inmersión.

La obtención de la dinámica respiratoria de las semillas para cada tratamiento con 3h de inmersión, pueden sustentar todos los resultados anteriores (Figura 7), en ellas se puede apreciar las cuatro fases características dicho proceso (Jacinto et al. (2017).

Los tratamientos pregerminativo con los extractos provocan incrementos en este indicador con relación al control. La primera fase ocurre un vertiginoso aumento de la respiración en las tres primeras horas de imbibición. Se obtienen en tres grupos: los de mayores valores medios de la tasa (E240 y E3 en todas las diluciones), segundo formado por E230 y E4 en todas las diluciones y el tercero por el control y las diluciones de E1.

En la segunda etapa la respiración según refiere la literatura Jacinto et al. (2017), se mantiene estacionaria alrededor de 15 a 20 horas desde el comienzo de la imbibición, se corresponde el control con 15 h, sin embargo, para los extractos presentó una duración aproximada entre 3 a 6 h, lo que sugiere una bioestimulación del proceso; con la aparición de un cuarto grupo superior en el valor de la tasa para E240, E260 y el E330. La tercera etapa continúa con semejante patrón entre tratamientos con excepción del tratamiento E230 que se incrementa aún más. En la cuarta fase, se produce una disminución gradual de la respiración causada

Arteaga-Barrueta *et al.*: Impacto del tratamiento pregerminativo de semillas de frijol negro con extractos derivados de Vermicompost reciclados por el agotamiento de las reservas, tal como ocurre con el control y los tratamientos de los extractos a dilución de 1:60. En las diluciones 1:30 y 1:40 pueden favorecer aún la tasa respiratoria alta de manera más eficiente como los extractos E2, E3 y E4. Esto puede tener incidencia en la formación de biomasa, y en la viabilidad de las semillas (Arteaga et al., 2018).

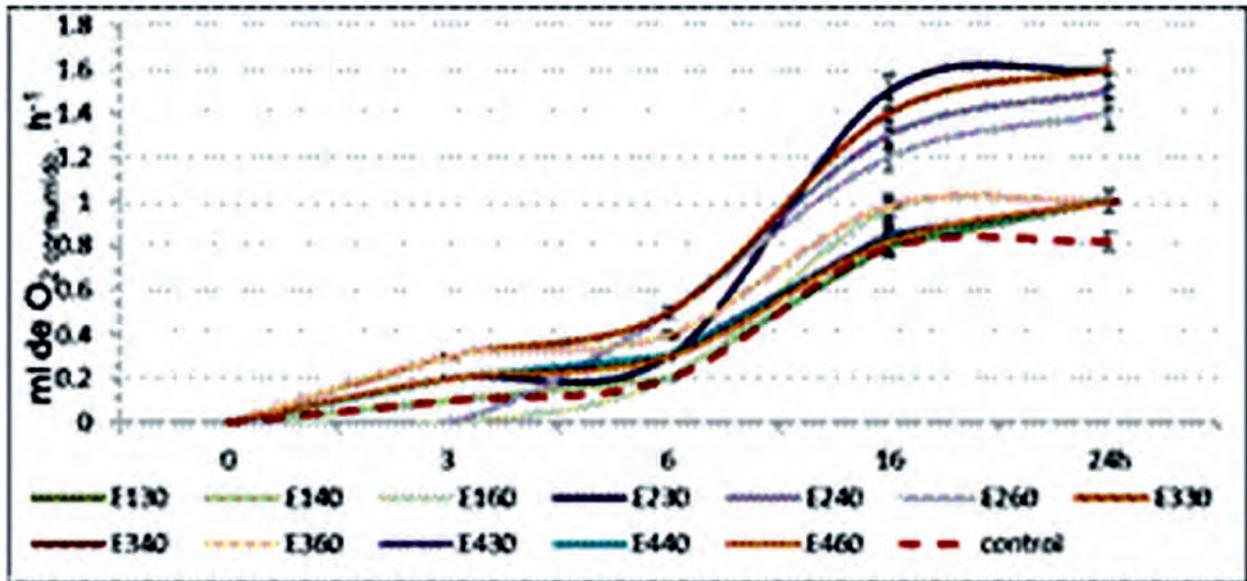


FIGURA 7. Tasa respiratoria durante 24 h de las semillas embebidas en 3 h.

Al comparar los valores medios de cocción de las semillas no embebidas (control 1 SNE) con las que se trataron con agua (control 2 SE) y con extracto (SEE) por inmersión por 3 h, se observa como el tratamiento de imbibición influye en la disminución del tiempo de cocción del grano, aspecto positivo en el mejoramiento de su calidad comercial (Figura 8). Para las semillas control 1 SNE con relación al control 2 SE embebido en H₂O vemos como el tiempo de cocción disminuye en un 11%. En las tratadas con los extractos, el E1 en todas las diluciones aplicadas lo disminuye entre un 25 – 33%, el E2 disminuye en un 7 – 25%, E330 lo reduce en un 30%, para E340 y E360 se reduce en un 7%. Con relación al control 1 no embebido (SNE), el E4 en todas las diluciones disminuye la cocción en un 60%, en dependencia al control embebido lo reduce en un 5 – 7%.

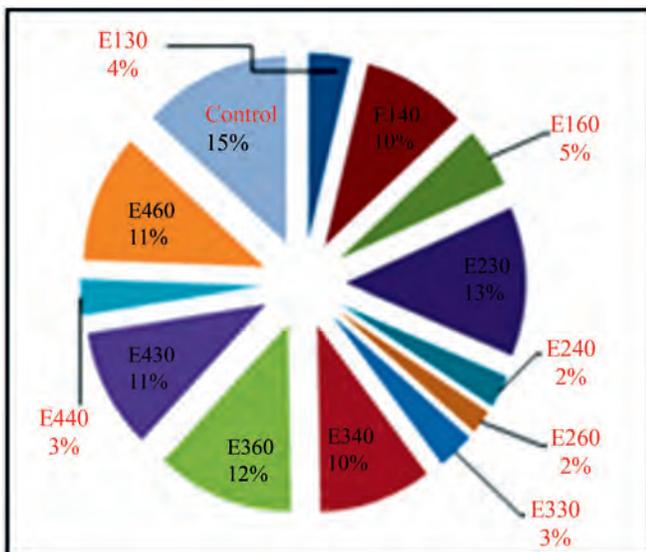


FIGURA 8. Valores medios de la capacidad de cocción de las semillas no tratadas (control), embebidas con los extractos (E) para 3 h de inmersión.

Estos resultados se pueden relacionar con la tasa de imbibición de las semillas. Lo que se corresponde con lo planteado por Jacinto *et al.* (2017), al determinar la contribución en un 55% de la capacidad de imbibición con el tiempo de cocción.

A las semillas tratadas por 3 h se le realizaron las pruebas de viabilidad directas mostradas en la Tabla 3.

Se manifiesta para todos los tratamientos con los extractos, una repuesta superior con relación a los controles SNE y SE. Se destacan los tratamientos más promisorios en correspondencia con los resultados anteriores para los extractos E2 y E3 en diluciones E230, E240, E260, E330, el E440 y para el E130, que hasta el momento no se ha destacado como más prometedor, pero no ha afectado la calidad de las semillas tratadas. De estos resultados se obtiene como extractos más promisorios con relación al control y entre sí, los tratamientos con los extractos E2, E3, y E4 y E130 en las diluciones en el orden: E240 ≈ E260 > E230 > E360 > E430 > E440 > E460 > E130 ≈ E140 ≈ E160 > Control con 3 h de inmersión.

De forma general, es significativa ($p < 0,05$) la interacción entre el origen de los extractos (número de extracciones), diluciones de los mismos (1:30, 1:40 y 1:60 V:V) y tiempo de inmersión de las semillas (3, 6 y 24 h), para los indicadores porcentaje de germinación y índices de calidad de las plántulas obtenidas.

De estos resultados en la germinación de las semillas se comprueba el efecto bioestimulante que tiene los extractos en su calidad fisiológica de acuerdo a lo referido por (Arteaga et al., 2018) en frijol y tomate.

En los coeficientes de partición de la masa seca de la raíz, hipocótilo, hojas y masa seca total de las plántulas de frijol por cada tratamiento estudiado se refleja en la Figura 9.

Tabla 3. Valores medios de indicadores de calidad del proceso de vigor de las semillas tratadas por 3 h,

Tratamiento	% SSG	TME	IVG	% PG/PN
E130	2g	4.00c	1.76b	1.0a
E140	10c	3.43d	1.57c	0.84d
E160	2g	4.00c	1.67b	1.0a
E230	8d	3.76b	1.56c	0.80e
E240	6e	3.34d	1.86a	0.91b
E260	2g	3.45b	1.74b	0.99a
E330	3f	3.62b	1.44d	0.85d
E340	4f	4.33a	1.44d	0.95c
E360	5e	3.71c	1.30e	0.85d
E430	5e	3.76c	1.44d	0.92b
E440	2g	4.00c	1.14g	1.0a
E460	10c	4.00c	1.22f	0.86d
Control (SE H ₂ O)	18a	5.60b	0.93h	0.66f
Es	0.011	0.011	0.03	0.014

% Semillas sin germinar (% SSG), tiempo medio de emergencia (TME), índice de velocidad germinativa (IVG), relación poder germinativo con plantas normales (% PG/PN). Letras diferentes son diferencias estadísticamente significativas para Tukey p<0.05.

Este indicador directo del vigor de las semillas, mostró diferencias significativas (p<0,05), con respecto al control para las diferentes diluciones de los tres extractos; obteniéndose una mayor formación de biomasa en las hojas, hipocótilo y raíz de las plántulas tratadas, lo que corrobora los resultados anteriores y demuestra la eficiencia en la bioestimulación que aporta el tratamiento pregerminativo de las semillas con los extractos por 3 h.

Con el coeficiente de partición de biomasa se identifica más claramente como tratamientos más promisorios: E230, E260, E240, E330, de acuerdo con los resultados obtenidos con anterioridad en el análisis de la calidad de las semillas tratadas con los extractos. En la formación de la masa seca foliar la mezcla de extractos E4 en dilución 1:30 y 1:40, mostró efectos semejantes al E260, para el resto de los tratamientos de los extractos se verifican estimulaciones en la formación de biomasa foliar en relación al control. En el hipocótilo, se destaca también el tratamiento E330, el resto de los extractos se diferencian significativamente del control. Los valores en la raíz, no obstante, el coeficiente de partición, son significativos para E2 y E3 en los tratamientos de E140.

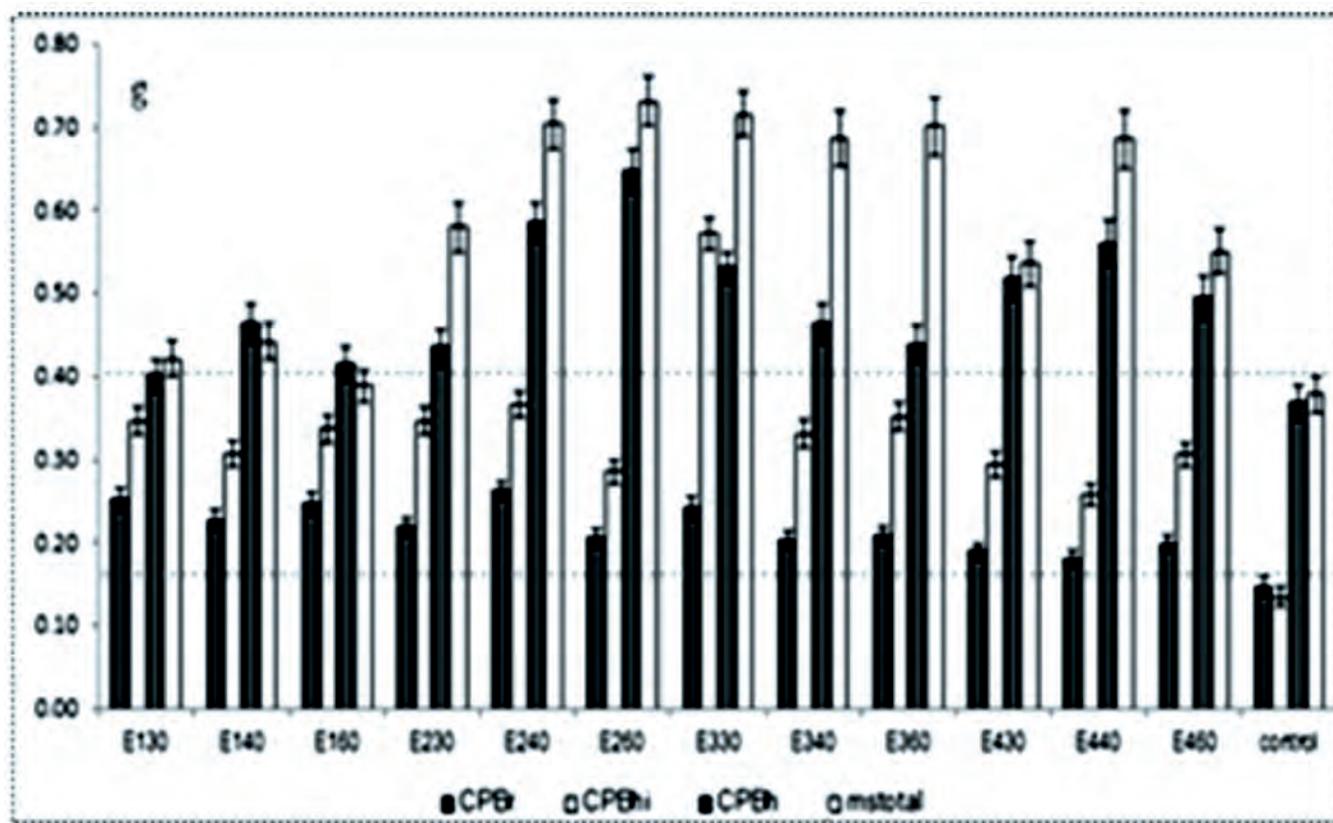


FIGURA 9. Valores medios de la formación de biomasa en las plántulas por cada tratamiento de extractos de Vc a las 3 h de inmersión y 11 ddg. (Es: 0,032). CPR: Coeficiente de partición de la raíz, hipocótilo (CPhi) y hojas (CPh) y la masa seca total de las plántulas.

Los resultados anteriores se confirman con el cálculo de las tasas de crecimientos calculadas (TAC y TRC), reflejadas en la Figura 10, estas corroboran cuan eficiente se hace el proceso de elaboración de la biomasa con la aplicación de los extractos (Torres et al., 2015).

La tasa absoluta de crecimiento (TAC), sugiere la acumulación de biomasa aportada por cada tratamiento por cada día, de acuerdo con los análisis anteriores refleja para todos los extractos valores más significativos con relación al control, con excepción del E1 en la dilución 1:30 y 1:40.

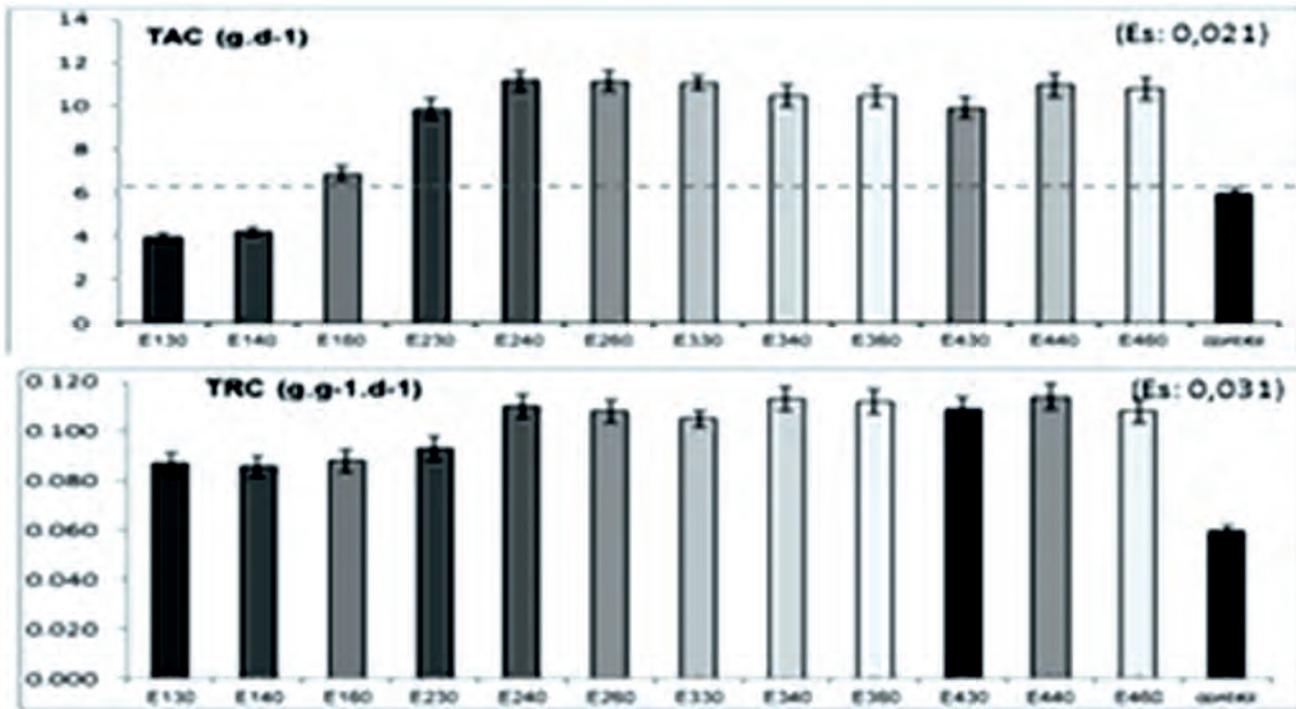


FIGURA 10. Valores medios de la tasa absoluta de crecimiento (TAC) y tasa relativa de crecimiento (TRC) para cada tratamiento con 3 h de inmersión.

Con la tasa de crecimiento relativo (TRC) en la formación de biomasa se verifica el efecto bioestimulante de los extractos en las diluciones estudiadas y tiempo de imbibición con relación al control. Se enfatiza aún más como tratamientos más promisorios los más diluidos 1:40 y 1:60 v: v para los extractos E2, E3, E4. Sugieren que dichas plantas deben estar más favorecidas en la producción de fotoasimilatos, como resultado de un proceso fotosintético más eficiente, los cuales estarían dirigidos hacia la formación de biomasa de los órganos que son los encargados directos de dicho proceso en las plantas (hojas, hipocótilo), repercutiendo en la mayor formación de biomasa, parte de la formación de las hojas y tallo (Nardi *et al.*, 2016). Los valores obtenidos en la formación de biomasa en las hojas demuestran el efecto de estos extractos de la primera extracción (E1), en estas diluciones el desarrollo foliar en frijol (Arteaga *et al.*, 2018).

Estos resultados ratifican lo antes expresado en el análisis de la calidad de las semillas y pueden estar avalados si consideramos la composición de los extractos (Tabla 1), formados por grupos con alta actividad biológica como las hormonas vegetales y precursores de estos, giberelinas, citoquininas, AIA, AIP; la fracción humificada de la materia orgánica (49% AH y 51% AF), la no humificada (AAs, proteínas, vitaminas), la fracción mineral formado por 12 macro y micro elementos (Caro, 2004; Du Jardin, 2015). Las acumulaciones de biomasa sugieren que las plántulas están mejor preparadas para las siguientes fases fenológicas del cultivo, comportamiento que deben valorarse en trabajos futuros, los beneficios obtenidos sin la modificación negativa de la calidad de las semillas mediante su tratamiento por inmersión por 3h con los extractos E2 y E3 fundamentalmente.

Se realizó la evaluación económica cualitativa de los estudios realizados bajo las condiciones establecidas donde se valoró el impacto de los extractos E2 y E3, obtenidos a través del reciclaje de los sólidos residuales SR1 y SR2 obtenidos como subproductos, que se le da un valor agregado dentro de los protocolos de obtención de los extractos y permite el ahorro de la utilización de vermicompost. Además, se logra ampliar la vía de aplicación de los bioproductos valorados con menor consumo de extracto aplicado E2 y E3 (1:40, 1:60), mejorando la calidad de las semillas para enfrentar las condiciones de estrés y el almacenaje en los agroecosistemas, al productor se le oferta las semillas con el aditivo con un mejor pronóstico de la mayor productividad y almacenaje. Se logra además, una mayor sostenibilidad ecológica con la disminución en el costo ambiental (Allen *et al.*, 1998).

CONCLUSIONES

- Se determinó el efecto bioestimulante de la aplicación de tratamientos pregerminativos con diluciones de extractos reciclados en la mejora de la calidad de semillas de frijol negro (*P. vulgaris* L.) var. ICA Pijao.
- Los tratamientos pregerminativos en semillas de frijol negro más promisorios (extracto, dilución y tiempo de inmersión) fueron fundamentalmente el E240, E260, E330 con un tiempo de inmersión de 3 h, al incrementar la germinación estándar de las semillas y calidad de las mismas. Los resultados sugieren la posibilidad de la utilización de estos extractos a diferentes concentraciones como formulaciones bioestimulantes promotoras de la germinación de las semillas y en la primera etapa vegetativa del cultivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abadía, R. L. A. (2018). *La cosecha mecanizada de caña de azúcar. Apuntes básicos de mejoramiento*. Conferencia Red agrícola Trujillo–Perú, agosto, 2018, Trujillo, Perú. <https://www.redagricola.com/pe/assets/uploads/2018/08/1--luis-armando-abadia-optimizacion-de-cosecha-mecanica-de-cana-de-azucar.pdf>.
- Allen, R. G., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (1998). Evapotranspiration—Guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and drainage paper*, 56, 300.
- Araméndiz, T. H., Cardona, A. C., & K Alzate, R. (2017). Prueba de conductividad eléctrica en la evaluación de la calidad fisiológica de semillas en berenjena (*Solanum melongena* L.). *Scientia Agropecuaria*, 8(3), 225-231.
- Arteaga, B. M., Garcés, P. N., Pino, R. J. A., Otaño, C. L., & Veubides, A. H. (2018). Extracto de vermicompost Liplant una alternativa para el desarrollo de la agricultura de conservación. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 27(3), 31-41.
- Caro, I. (2004). *Caracterización de algunos parámetros químico—Físico del humus líquido obtenido a partir de vermicompost de estiércol vacuno y su evaluación sobre algunos indicadores biológicos y productivos de dos cultivos* [Tesis de maestría en opción al título de Máster en Ciencias de la Química Agraria]. Universidad Agraria de La Habana.
- De Liñán, V. C. (2019). *Vademecum de productos fitosanitarios y nutricionales* (primera). Ed. Agrotecnias S.A.
- Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3-14.
- FAO. (2017). *Evaluación de la Seguridad de Semillas* (primera). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO, Roma, Italia.
- Far More Technology. (2017). *La Plataforma Tecnológica Far More de Tratamiento de Semillas*. Syngenta.
- Fiant, E. S., Núñez, S. B., Pereyra, M. S., Bruno, C. I., & Tablada, E. M. (2018). *Manual de buenas prácticas para la evaluación de calidad de semillas incrustadas de Gatton Panic*. UNC-FCA.
- Gaceta Oficial de la República de Cuba. (2020). La Política de Recursos Fitogenéticos y Semillas implementa el Lineamiento 160 de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución. *Gaceta Oficial de la República de Cuba*, 57, 32p. <http://www.gacetaoficial.gob.cu>, La Habana, Cuba.
- González, A. L. J., Pita, B. E., Pinzón, S. E. H., Cely, G. E., & Serrano, P. A. (2018). Efecto de tratamientos pregerminativos en semillas de *Dianthus barbatus* L. cv. 'Purple' bajo condiciones controladas. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(1), 58-68. <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.183501.83>
- ISTA. (2020). *International rules for seed testing* (primera). ISTA.
- Jacinto, H. C., Bernal, L. I., Garza, G. R., & Garza, G. D. (2017). Cambios poscosecha en frijol durante el almacenamiento prolongado en contraste con el envejecimiento acelerado. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(8), 1827-1837.
- Maqueira, L. L. A., Rojan, H. O., Mesa, S. A. P., & Torres de la Noval, W. (2017). Crecimiento y rendimiento de cultivares de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) en la localidad de Los Palacios. *Cultivos Tropicales*, 38(3), 58-63.
- Minag. (2000). *Instructivo Técnico para el cultivo del frijol. Lista oficial de variedades comerciales* (primera). CIDA, La Habana, Cuba.
- Morales, S. M. E., Peña, V. C. B., García, E. A., Aguilar, B. G., & Kohashi, S. J. (2017). Características físicas y de germinación en semillas y plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre, domesticado y su progenie. *Agrociencia*, 51(1), 43-62.
- Nardi, S., Pizzeghello, D., Schiavon, M., & Ertani, A. (2016). Plant biostimulants: Physiological responses induced by protein hydrolyzed-based products and humic substances in plant metabolism. *Scientia Agricola*, 73, 18-23.
- OECD/FAO. (2020). *Perspectivas Agrícolas 2020-2029*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/a0848ac0-es>
- ONE. (2020). *Servicios informativos de la oficina nacional. Anuario Estadístico. Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca*. Oficina Nacional de Estadísticas de Cuba. www.one.cu, La Habana, Cuba.
- Otaño, L. C. (2017). *Estudio cuantitativo y cualitativo de agromateriales obtenidos del vermicompost* [Tesis en opción al título de Ingeniero Agrónomo]. Universidad Agraria de La Habana "Fructuoso Rodríguez Pérez", Facultad de Agronomía, Departamento de Química, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.
- Ruiz, S. M., Muñoz, H. Y., Guzmán, D., Velázquez, R. R., Díaz, L. G. S., Martínez, A. Y., & Almeida, F. M. (2018). Efecto del calibre semilla (masa) en la germinación del sorgo. *Cultivos Tropicales*, 39(4), 51-59.
- Torres, G. A., Cué, G. J. L., Hernández del Valle, G., & Peñarrieta, B. S. (2015). Efectos del Biostan en la altura y masa seca de *Phaseolus vulgaris* L., genotipo criollo. *La Técnica*, 15, 18-25.

Mayra Arteaga Barrueta, Prof. Titular, Universidad Agraria de La Habana "Fructuoso Rodríguez Pérez (UNAH) Facultad de Agronomía, Departamento de Química y Producción, e-mail: mayra@unah.edu.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-0591-2063>

Dayán Alejandro Mederos González, Estudiante de Maestría de Agroecología, Facultad de Agronomía (UNAH) e-mail: mayra@unah.edu.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-4767-3504>

José Antonio Pino Roque, Profesor Auxiliar, Universidad Agraria de La Habana "Fructuoso Rodríguez Pérez", Facultad de Ciencias Técnicas, Departamento de Matemática Física, Carretera Tapaste y Autopista Nacional, km 23 ½ San José de las Lajas, Mayabeque. C.O: 32700. Apartado postal: 18-19, e-mail: pino@unah.edu.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-9728-6700>

Saturnina Mesa Rebato, Profesora, Universidad Agraria de La Habana "Fructuoso Rodríguez Pérez (UNAH) Facultad de Agronomía, Departamento de Química y Producción, e-mail: mayra@unah.edu.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-3613-4580>

Ma. Margarita Díaz De Armas, Profesora, Universidad Agraria de La Habana "Fructuoso Rodríguez Pérez (UNAH) Facultad de Agronomía, Departamento de Química y Producción, e-mail: mayra@unah.edu.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-5420-2100>

Helen Veobides, Profesora, Universidad Agraria de La Habana "Fructuoso Rodríguez Pérez (UNAH) Facultad de Agronomía, Departamento de Química y Producción, e-mail: mayra@unah.edu.cu ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9439-6776>

Arteaga-Barrueta *et al*: Impacto del tratamiento pregerminativo de semillas de frijol negro con extractos derivados de Vermicompost reciclados
Iván Castro Lizaso, Profesor, Universidad Agraria de La Habana "Fructuoso Rodríguez Pérez (UNAH), Facultad de Agronomía, Departamento de Química y Producción, e-mail: mayra@unah.edu.cu ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6964-5160>

CONTRIBUCIONES DE AUTOR:

Conceptualización: Mayra Arteaga Barrueta, Curación de datos: Mayra Arteaga Barrueta, Dayán Alejandro Mederos González. Análisis formal: Mayra Arteaga Barrueta, José Antonio Pino Roque. Captación de fondos: Mayra Arteaga Barrueta. Investigación: Mayra Arteaga Barrueta, Dayán Alejandro Mederos González. Metodología: Mayra Arteaga Barrueta, Administración de proyectos: Mayra Arteaga Barrueta, Recursos: Mayra Arteaga Barrueta, Alejandro Carlos Evangelista, Software: Supervisión: Mayra Arteaga Barrueta, Saturnina Mesa Rebato. Validación: Mayra Arteaga Barrueta, Visualización: Mayra Arteaga Barrueta, Redacción–borrador original: Mayra Arteaga Barrueta, Iván Castro Lizaso, Ma. Margarita Díaz De Armas. Redacción–revisión y edición: José Antonio Pino Roque, Dayán Alejandro Mederos González, Helen Veobides.

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra sujeto a la Licencia de Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.

