

Mejoramiento ecológico de semillas de cultivares de tomate con agromateriales reciclados

Ecological improvement of seeds of three tomato cultivars with recycled agromaterials

Mayra Arteaga-Barrueta^{I*}, José Antonio Pino-Roque^{II}, Rocío Sánchez-Rosales^{III},
 Ambar Rosa Guzmán-Morales^I, Helen Veubides^I, Luis A. Montejano-Mesa^I,
 Ma. Margarita Díaz-de Armas^I, Omar Cartaya Rubio^{IV}, Yaisys Blanco Valdés^{IV} and Anacacis Strauss-Oliver^V

^IUniversidad Agraria de La Habana "Fructuoso Rodríguez Pérez, Facultad de Agronomía, Departamento de Química y Producción Agrícola, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

^{II}Universidad Agraria de La Habana "Fructuoso Rodríguez Pérez, Facultad de Ciencias Técnicas, Departamento de Matemática Física, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

^{III}Universidad Autónoma de Chiguagua, Facultad de Ciencias Agropecuarias, México.

^{IV}Instituto Nacional de Ciencias Agropecuarias INCA, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

^VUniversidad Agraria de La Habana "Fructuoso Rodríguez Pérez, Facultad de Agronomía, Grupo Científico MOBI, Maestrante Agroecología y Sostenibilidad, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

*Autor para correspondencia: Mayra Arteaga-Barrueta, e-mail: mayra@unah.edu.cu

RESUMEN: Se obtienen semillas ecológicas tratadas con sólidos residuales del agroecosistema productivo, aún no manejados con estos fines; con el objetivo de evaluar el efecto del revestimiento de semillas de tres cultivares de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), con agromateriales reciclados del agroecosistema, sobre las propiedades físicas y fisiológicas de las semillas, como promotores de la calidad y la eficiencia del proceso germinativo, de la primera etapa vegetativa y de conservación, que garantice la sostenibilidad del proceso productivo del cultivo. Con el propósito de ampliar las formas de aplicación de los bioproductos concebidos, estableciendo una metodología bajo los lineamientos de la economía circular, reduciendo la cantidad de sólido residual utilizado y validado junto al colágeno vegetal. Se establecieron protocolos más eficaces para la preparación de los agromateriales, el revestimiento y evaluación de la calidad de las semillas tratadas. Se obtuvo la extracción de colágeno más eficiente a partir de 300 g material vegetal con 375 ml de agua, las proporciones de las mezclas de revestimientos al utilizar 0,5 g sólido residual en 1 mL de Colágeno. Se consiguió un 80-95 % de semillas recubiertas con 40-98 % de la superficie recubierta y masa de la mezcla adherida de 0,30-0,60 g. La valoración económica del proceso se manifiesta al utilizar un menor consumo de agromateriales para lograr un efecto promotor en las semillas revestidas en la etapa de semillero en los indicadores fisiológicos: calidad del proceso germinativo, formación de biomasa, tasas de crecimiento de las plántulas en condiciones de laboratorio y productivo; lo que prevé un proceso productivo más ventajoso condicionado con las externalidades positiva en su impacto ambiental. Se propone como una alternativa que permitirá el desarrollo de una agricultura circular sostenible.

Palabras clave: semillas ecológicas, reciclaje de residuos, vermicompost, revestimiento de semillas, economía circular.

ABSTRACT: Organic seeds treated with residual solids from the productive agroecosystem, not yet managed for these purposes, are obtained; with the objective of evaluating the effect of coating seeds of three (*Solanum lycopersicum* L.) tomato cultivars, with recycled agromaterials from the agroecosystem, on the physical and physiological properties of the seeds, as promoters of quality and efficiency of the germination process, of the first vegetative stage and conservation, which guarantees the sustainability of the crop production process. With the purpose of expanding the forms of application of the conceived bioproducts, establishing a methodology under the guidelines of the circular economy, reducing the amount of residual solid used and validated together with plant collagen. More effective protocols were established for the preparation of agromaterials, coating and evaluation of the quality of the treated seeds. The most efficient collagen extraction was obtained from 300 g plant material with 375 ml of water, the proportions of the coating mixtures when using 0.5 g residual solid in 1 ml of collagen. 80-95% of seeds were coated with 40-98% of the surface coated and mass of the adhered mixture of 0.30-0.60 g. The economic valuation of the process is manifested by using a lower consumption of agromaterials to achieve a promoting effect on the coated seeds in the seedbed stage in the physiological indicators: quality of the germination process, biomass formation, growth rates of the seedlings under conditions laboratory and productive; which provides for a more advantageous production process conditioned by positive externalities in its environmental impact. It is proposed as an alternative that will allow the development of sustainable circular agriculture.

Keywords: Organic Seeds, Waste Recycling, Vermicompost, Seed Coating, Circular Economy.

Recibido: 02/06/2024

Aceptado: 15/11/2024

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

CONTRIBUCIONES DE AUTOR: Conceptualización: M. Arteaga, R. Sánchez. Curación de datos: M. Arteaga, R. Sánchez A. Guzmán. Análisis formal: M. Arteaga. Investigación: M. Arteaga, R. Sánchez, J. A. Pino A. Guzmán, H. Veubides, L. Montejano, M. Díaz, A. Strauss. Metodología: M. Arteaga. Supervisión: M. Arteaga. Validación: M. Arteaga. Roles/Writing, original draft: M. Arteaga, O. Cartaya, Yaisys Blanco. Redacción-revisión y edición M. Arteaga, R. Sánchez.



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



INTRODUCCIÓN

En los tiempos que transcurren en la actualidad a nivel mundial donde ocurre un enfrentamiento a la crisis económica y al cambio climático, la producción de alimentos ecológicos de manera más sustentable se ha convertido en un gran reto y esencialmente en la producción de semillas como punto de partida del sistema agroalimentario. Dentro de las debilidades encontradas en las prácticas agroecológicas a nivel de los sistemas productivos esta la deficiente producción y conservación de semillas con calidad, lo que determina que los precios reales se mantengan por encima de los mínimos históricos (OCDE-FAO, 2020; ONEI-Cuba, 2021).

Aspectos tratados en el seminario sobre manejo sostenible de las semillas FAO (2023), donde se destacó su tratamiento como un método práctico que logra una rápida y uniforme germinación de manera ininterrumpida, se ha vuelto cada vez más notorio en la agricultura comercial actual, al integrar a ella los nutrientes activos necesarios para el proceso de crecimiento inicial del cultivo y de mantenimiento durante su almacenamiento. Estos tratamientos realizados correctamente de modo viable y ecológico pueden ser más favorables aún para el agricultor, si lo realiza con el uso de los recursos naturales endógenos de su propio agroecosistema. Esto conllevaría ampliar el reciclado de biomasa para optimizar la disponibilidad y el flujo balanceado de los nutrientes; siendo de este modo una alternativa para mejorar las características de siembra, manejo y fluidez de una producción sustentable. Además de permitir validar y reciclar su uso, bajo los criterios de una agricultura circular agroecológica (Arteaga et al., 2022).

El tomate es una hortaliza de alta demanda por la población Mundial por sus múltiples usos: consumo fresco, conservas, pastas, puré y jugo; muy importante en la canasta alimentaria; se cultiva en casi todo el mundo y se producen volúmenes de semilla superiores al 1 500 TM, aunque se encuentran inconvenientes en la calidad requerida, la cual garantiza alrededor del 40 % de los rendimientos (Sánchez & Furazola, 2018). Esta problemática pudiera revertirse con el revestimiento de las semillas con bioproductos estimulantes que faciliten la viabilidad de las mismas al estar mejor preparadas con los insumos necesarios para la obtención de producciones sustentables; las cuales al ponerlas a disposición de los productores trascendería en una garantía y ganancia económica para 'estos, alternativa que se ha convertido en un reto mundial vigente (FAO, 2023).

Ante estas necesidades en la actualidad el grupo de Materia Orgánica y Bioestimulantes el Departamento de Química de la Universidad Agraria de La Habana, Cuba, trabaja en optimizar los procesos de gestión integral en el tratamiento de los residuos naturales de los agroecosistemas para establecer transformaciones con la adopción de prácticas agrícolas con el uso sostenible de los mismos. Una de las alternativas que se valida es la producción y aplicación más racional, diversificada y viable de los

extractos de vermicompost, desde la mejora de la calidad de las semillas exigida para la siembra y tratamientos foliares, con el fin de garantizar producciones sostenibles (Arteaga et al., 2022).

Sin embargo, aún no se ha validado el uso de los sólidos residuales obtenidos durante el proceso de extracciones de los extractos bioestimuladores; a pesar de aún presentar propiedades activas para la estimulación de los procesos del suelo (Torres et al., 2015). Pudiéndose extender a las plantas y lograr realizar procesos de aprovechamiento más eficiente de los materiales naturales, al utilizarse el residual como promotor del proceso germinativo de las semillas y vegetativo de las plántulas. Es significativo considerar que la aplicación de los sólidos residuales en el recubrimiento de las mismas requiere de un adhesivo, lo cual sería prometedor si se utiliza un colágeno de origen vegetal que abunda en los agroecosistemas cubanos como planta ornamental y aún no se ha extendido su aprovechamiento con estos fines; considerando el aporte nutritivo que pudiera brindar dada su constitución (Torres et al., 2015).

Estos antecedentes, constituyen la base de la novedad científica de este trabajo, pues no se generalizan en la literatura especializada estudios sobre esta temática con residuos naturales compostados obtenidos de los agroecosistemas. El objetivo de evaluar el efecto del revestimiento de semillas de tres cultivares de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), con agromateriales reciclados del agroecosistema, sobre las propiedades físicas y fisiológicas de las semillas, como promotores de la calidad y la eficiencia del proceso germinativo, de la primera etapa vegetativa y de conservación, que garantice la sostenibilidad del proceso productivo del cultivo. Se busca ampliar las formas de aplicación de los bioproductos concebidos, estableciendo una metodología bajo los lineamientos de la economía circular, reduciendo la cantidad de sólido residual utilizado y validado junto al colágeno vegetal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se llevaron a cabo en los laboratorios del Dpto. Química, Facultad de Agronomía, Universidad Agraria de La Habana. El protocolo seguido para la realización de la investigación consta de cuatro etapas fundamentales: (I) Tratamiento pre-germinativo de las semillas. (II) Evaluación calidad física de las semillas tratadas. (III) Evaluación de su calidad fisiológica en laboratorio y campo. (IV) Análisis económico del procedimiento.

Se utilizaron semillas certificadas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) de los cultivares Mara, Elbita y Celeste obtenidas en la UEB Granja Urbana Suburbana y familiar de San José de las Lajas, provincia Mayabeque. Estas presentaron un porcentaje de germinación entre un 85 % - 90 % con una humedad entre un 12 - 15 % y una masa promedio de 1,6 g - 2,0 g evaluada para 100 semillas. Se desinfestaron las semillas con disolución de hipoclorito de sodio al 1 % para realizar su evaluación.

Los sólidos residuales fueron obtenidos como subproductos del reciclaje a partir de los proceso de extracciones sucesivas del vermicompost de estiércol vacuno para la obtención de los lixiviados reciclados, integrando metodologías de extracción antes establecidas referidas por [Arteaga et al. \(2022\)](#).

El procedimiento de revestimiento de las semillas constó de cinco pasos: (I) preparación de los agromateriales (II) Determinación de las proporciones de mezclas de los agromateriales más idóneas (III) Obtención del proceso de revestimiento de las semillas más ventajoso a nivel de laboratorio (IV) secado de las semillas (V) evaluación de la calidad del revestimiento de las semillas en el laboratorio y en campo.

Se seleccionaron indicadores de calidad para la evaluación de sustancias compostadas y vermicompostadas, descritos en la literatura especializada y normas cubana establecidas (NC: 1018, (2014), en los laboratorios de investigación de la Universidad Agraria de la Habana y el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. La preparación del sólido residual de la segunda extracción (SR₂) para su estudio y utilización consistió, primeramente, en macerar y tamizar con un diámetro de 0,2 mm, con el fin de disminuir el tamaño de las partículas e incrementar la superficie de contacto con el colágeno para lograr mayor adherencia de la mezcla de ambos a la superficie de las semillas en el recubrimiento. Las propiedades evaluadas fueron humedad (%) en una estufa (P/G2007ba) a 60 °C durante 72 horas, referenciados por International Seed Testing Association ISTA (2020), pH con un potenciómetro (PHSJ-3F) y los sólidos disueltos totales TDS g., L⁻¹. La conductividad eléctrica CE mS.cm⁻¹, % Salinidad a T22°C y $\alpha=0.022$ a través de un conductímetro (DDSJ-308A). Se determinó simultáneamente con el mismo lixiviado el pH, sólidos disueltos totales. Siguiendo las referencias de [Santos & Camargo \(2014\)](#), la capacidad de intercambio catiónico CIC (meq kg⁻¹), el contenido de nutrientes en fósforo P (ppm), potasio K (ppm), la relación Ca/Mg, el contenido de materia orgánica del sólido residual de la segunda extracción SR₂ a partir del carbono orgánico total COT (%), la relación COT/Nt y la relación de porcentaje de humificación (%).

Como material adherente del sólido residual a la semilla se utilizó el colágeno extraído de los cladodios (pencas) de nopal (*Opuntia* spp) muy desarrollada de más de 20 años de edad. Por su alto valor nutritivo, según [Torres et al. \(2015\)](#), pudiera ser además utilizado como portador nutritivo a la

semilla, puesto que en su composición contiene una familia de polisacáridos altamente ramificados. En base húmeda de 91 % agua, presenta: 0,66 % proteínas, 0,11 % grasas, 5,5 % de carbohidratos, 1,15 % celulosa y 1,58 % cenizas, dado por el contenido en minerales, proteínas, fibra dietética y fotoquímicos ([Galicia et al., 2017](#)).

La metodología utilizada para la extracción del mucílago de las pencas del nopal se realizó con una combinación y modificación de la aplicada por [Rodríguez \(2017\)](#). Consta de nueve pasos fundamentales: (I) masar las pencas (II) lavar con agua destilada con la adición de hipoclorito al 0,1 %. (III) Cepillar las pencas para eliminar las espinas. (IV) cortar las mismas en dados de 2 X 2 cm. (V) la proporción que se establece para la extracción del colágeno se toman 300 g del material vegetal (por ser la masa promedio de las hojas de la planta) en 375 ml de agua (por ser el volumen que cubre dicho material en un beaker de 500 ml), para llegar a obtener una densidad de 1,5 g. ml⁻¹. (VI) se deja en reposo durante 72h a 25°C. (VII) el extracto se licua. (VIII) posteriormente se filtra. (IX) se le determina su masa. Las modificaciones realizadas al método se fundamentaron en los indicadores: -la proporción utilizada entre la masa del material vegetal del nopal y el agua añadida para la extracción del colágeno, sin la utilización de etanol para la precipitación del colágeno. - No se efectuó calentamiento durante la extracción se trabajó a una temperatura de 25 °C. -El pH no fue ajustado, se mantuvo aproximadamente con un valor de 7, el cual corresponde al mucílago natural.

La formación de las mezclas para el revestimiento de las semillas se realizó de acuerdo a las proporciones entre 0,5 y 1 g sólido residual (SR) con 0,5 1 y 2 ml del colágeno, como aparece en la [Tabla 1](#).

El procedimiento seguido en la aplicación de la mezcla sólido residual (SR) + colágeno consistió en colocar 50 semillas en una bolsa plástica con sello, unido con los diferentes tratamientos establecidos para el revestimiento se agitaron en zaranda, hasta constatar que se encontraban en su mayoría recubiertas (4h). El siguiente paso consistió en el secado de las semillas se realizó al aire en un área fresca del laboratorio de investigación, depositada sobre un tamiz y papel de filtro en las mesetas durante 72 horas. La calidad del revestimiento realizado a las semillas tratadas se evaluó a través del porcentaje de la superficie recubierta, con la ayuda de un estereoscopio electrónico (modelo SMZ_140). Se determinó el porcentaje: (I) de semillas recubiertas del total tratada (II) de recubrimiento de la superficie de las semillas.

TABLA 1. Proporciones de agromateriales en las mezclas de revestimiento a estudiar

| Tratamiento | SR (g) | Colágeno (ml) | Tratamiento | SR (g) | Colágeno (ml) |
|-------------|--------|---------------|-------------|--------|---------------|
| 1 | 0,5 | 0,5 | 4 | 1,0 | 0,5 |
| 2 | 0,5 | 1,0 | 5 | 1,0 | 1,0 |
| 3 | 0,5 | 2,0 | 6 | 1,0 | 2,0 |

Leyenda: SR: sólido residual

Se utilizaron cuatro réplicas para la evaluación de la calidad física y fisiológica de las semillas tratadas y las que se tomaron como control con igual cantidad de semillas sin revestir. Se seleccionaron indicadores referenciados por International Seed Testing Association **ISTA (2020)**, reflejados con los métodos utilizados en la **Tabla 2**.

Se desarrolló un experimento de campo en la Finca local “La Esperanza”, perteneciente a la CCS “Nelson Fernández” ubicada en el Municipio de San José de Las Lajas, Prov. Mayabeque; con el fin de valorar la efectividad del recubrimiento de las semillas con las mezclas más promisorias en la etapa de semillero y primera vegetativa en condiciones de producción. En un suelo Ferralítico Rojo Lixiviado típico **Hernández et al. (2014)**, que se correlaciona con un Nitisol ferrálico (Eurico ródico), de acuerdo al referencial de suelo WRB (**UICS, 2017**). Se seleccionaron indicadores de la calidad para el monitoreo de suelos, descritos por **Paneque & Calaña (2015)**, y considerados para la evaluación del SR₂, planteados con anterioridad.

Se realizó el montaje en dicho suelo del semillero a principio del mes de febrero hasta la primera quincena

de marzo del año 2019, con las semillas recubiertas de los cultivares (Mara, Celeste y Elbita), recubiertas con las variantes de las mezclas más promisorias en la proporciones ((g) SR : (ml) colágeno): 0,5:0,5, 0,5:1, 1:1. Las mismas fueron sembradas en un marco de 0,01x0,05 m **INTA (2017)**, distribuidos los tratamientos en el área siguiendo un diseño de bloques al azar con cuatro réplicas por cada uno. Los indicadores de los índices de crecimientos evaluados en las plántulas se reflejan en la **tabla 2**.

Se registraron las variables meteorológicas tomadas de la Estación de Tapaste provincia Mayabeque. El comportamiento de la temperatura (°C) que comprenden el período de evaluación no se diferenció de los valores medios históricos característicos de la zona (19,93 °C - 23,10 °C). Los valores de la humedad relativa se encontraron entre un 77 % - 82 %. Durante el período experimental, entre los meses de enero a marzo las precipitaciones fueron menores (37,3 mm) a las características de la zona (96,0 mm); el déficit se suplió con riegos efectuados con dificultad por la escasez de agua.

La valoración económica cualitativa se realizó sobre la base de la valoración de los beneficios de las externalidades:

TABLA 2. Indicadores de la calidad de las semillas evaluados

| Indicador | PROCEDIMIENTO ISTA (2020) , |
|---|--|
| CALIDAD FÍSICA | |
| Masa seca y % de humedad (H) de 100 semillas | Método de gravimétrico por volatilización. Balanza Analítica Sartorius AG Made by Sartorius. Estufa (P/G2007ba) a 60°C durante 72 horas. % H: (masa fresca-masa seca / masa fresca) x 100. |
| Capacidad de hidratación de las semillas (CH) | CH=(mf- ms/ms) x 100 |
| Contenido de cenizas | (1,0 g ± 0,0001 g) a una temperatura de 525 °C en un horno tipo mufla (SX2) durante 4 horas. masa Cenizas (g) = masa inicial - masa final |
| Calidad del revestimiento de las semillas | Porcentajes de semillas recubiertas del total tratadas Porcentajes de recubrimiento de la superficie de las semillas (utilización de un estereoscopio (modelo SMZ_140) |
| CALIDAD FISIOLÓGICA | |
| Pruebas de vigor indirectas | Conductividad eléctrica |
| masal (CE), Sólidos disueltos totales (STD) y % inmersión con agua destilada hervida en una relación agua/semillas de 15 ml.g ⁻¹ del lixiviado | Obtener los lixiviados electrolíticos para cada tratamiento Se lavaron y colocaron en semillas, después de 24 h a temperatura ambiente. |
| Pruebas de vigor directas | Conductímetro DDSJ-308A |
| Tasa respiratoria de las semillas | Conductimetría directa pH metro PHSJ-3F |
| Pruebas de germinación estándar | 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 sujetada 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 oxígeno consumido, la medición del volumen de agua permite medir la tasa de respiración de las semillas. |
| Índice de envejecimiento (IE) | Método de los tabacos con papel de filtro humedecido durante 15 días en la campana del laboratorio con luz directa durante 24h, se establecieron cinco réplicas cada tratamiento. |
| Poder germinativo (PG) | IE = (PG inicial - PG final / PG inicial) |
| Tiempo medio de emergencia (TME). | PG = No. Semillas germinadas /No. semillas totales puestas a germinar X 100 |
| Índice de velocidad de germinación (IVG) | momento en que alcance 50 +1 semillas germinadas/días del conteo |
| Conteo de plantas | IVG= $\Sigma(D_i D_g)/i$, donde: Di (N ₀ . Semillas germinadas en el día), Dg (N ₀ . Semillas germinadas en el conteo desde el inicio de la puesta a germinar), i (N ₀ . de días al momento del conteo desde la puesta a germinar) |
| Índices de crecimientos | normales, anormales y semillas germinadas y no germinadas. |
| Tasa de crecimiento relativo TCR g/(g. día) | TCR = $(\ln ms_2 - \ln ms_1) / (T_2 - T_1)$ |
| Tasa absoluta crecimiento TAC (g. día) | Tasa de TAC = $ms_2 - ms_1 / (T_2 - T_1)$ ms: masa seca T: tiempo [(msf- msi) / (AFF- AFi)][(ln asimilación neta (TAN) g.cm ⁻² .d ⁻¹ Área foliar específica AFF- ln AFi) / (Tf-Ti)] AF total / ms hoja cm ² . g ⁻¹ AF (Programa DELTA - T SCAN (AFE) cm ² . g ⁻¹) |
| Leyenda: Masa: m, ms: masa seca, f: final, i: inicial, T: tiempo, área foliar: AF | V.2,02, 1986) |

(I) Efecto fisiológico sobre las semillas (II) reutilización de un residuo y un colágeno vegetal de una planta común en los agroecosistemas cubanos y de poco manejo económico en el país. (III) impacto ambiental que puede aportar esta alternativa ecológica.

Los datos fueron procesados con la prueba de hipótesis ANOVA Simple y de comparación múltiple de Tukey al 5 % de significación. Todos los análisis se realizaron con el paquete estadístico Statgraphics 5.0. Se realizaron transformaciones ($\sqrt{n+1}$) a las variables que lo requerían: conteo de N°. semillas germinadas y plántulas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las propiedades físico-químicas y biológicas del vermicompost (Vc) que le dio origen al sólido residual de la segunda extracción (SR₂), del suelo de la finca (S) y después de mejorado con SR₂ (sustrato), se reflejan en la **Tabla 3**.

Para el SR₂ el contenido de humedad, al igual que el Vc que le dio origen se encontró dentro del rango establecido entre 10 - 15 %. Igual patrón mostró la relación C/N que estuvo entre 13 - 20 para ser empleado, de acuerdo con las especificaciones de calidad para el humus de lombriz (NC: 1018, 2014). De igual manera el valor del pH se halló en el rango con características básicas dentro de los límites permisibles, referidos para estos productos compostados. Se corresponden los valores de la conductividad eléctrica cercanos a 3 dS.m⁻¹, mostrando un tolerancia de segunda calidad para el humus de lombriz (NC: 1018, 2014). El valor de la capacidad de intercambio catiónico (CIC), de aproximadamente de 500 meq.kg⁻¹, lo refieren con utilidad agronómica como portador de nutrientes, dado por el contenido de P, K, Ca y Mg; los cuales se encuentran en el intervalo requerido de materiales orgánicos compostados (NC: 1018, 2014). El porcentaje de salinidad se presentó bajo de acuerdo al marco normativo antes referido.

Es importante considerar, el valor del carbono de las sustancias humificadas y la relación de humificación (RH), que para el SR₂ después de dos extracciones sucesivas, se mantiene la presencia de un material humificado con

calidad y estabilizado, lo que sugiere su impacto al utilizarse como biomejorador y potenciador del suelo y de semillas (Zandonadi *et al.*, 2014).

El porcentaje de materia orgánica presente entre 15-20% lo mantienen en un material orgánico de segunda calidad, sin embargo, se destaca la relación de humificación en correspondencia con la rel. C/N sugieren su madurez y estabilidad, que unido al nivel nutritivo que aún mantiene el sólido residual indica su utilización como transportador favorable de estos a las semillas y como mejorador del suelo semejante al Vc que le dió origen.

Los indicadores de calidad evaluados reflejan propiedades características de un suelo agrogénico (**Tabla 3**), de acuerdo con lo planteado por Hernández *et al.* (2014): valores de pH en el intervalo ligeramente básico, el carbono orgánico total (COT) es bajo; así como el resto de los nutrientes presentes, los cuales se pueden perder con la actividad agrogénica que no ha tenido un manejo adecuado, teniendo un impacto negativo en la estabilidad estructural para este tipo de suelo FRL (Hernández *et al.*, 2014).

Se acentúa el mejoramiento del suelo al formar un sustrato con el SR₂, en proporción en masa de una parte de 'este con tres de suelo (1:3 m:m), (Paneque & Calaña, 2015), con propiedades más conservadas, al tener un incremento prácticamente 4 veces mayor el % de COT con una calidad superior y más estabilizada; esto es sugerido por la relación C/N, que mantiene semejante patrón de incremento del sustrato con relación al suelo. Unido a esto, el contenido adecuado de nutrientes y el pH con mayor tendencia hacia la neutralidad, a pesar que el SR₂ tiene un pH de 8,2 básico, determinado porque al entrar al suelo la MOS presente realiza su efecto buffer llevando a pH más bajos. Los resultados en general indican un adecuado aporte para el correcto desarrollo de las plántulas en la etapa de semillero y primera vegetativa, de acuerdo a referencias dadas por Hernández *et al.* (2014).

En el laboratorio se determinaron las propiedades físico-químicas del mucilago extraído del material vegetal (MV) y de las mezclas establecidas para el revestimiento de las semillas, mostradas en la **Tabla 4**.

TABLA 3. Caracterización del sólido residual (SR₂), obtenido en la segunda extracción sucesiva del vermicompost de estiércol vacuno (Vc), del suelo de la finca (S) y después de mejorado con SR₂ (sustrato)

| AM | % Hum | P ppm | K ⁺ ppm | Ca ²⁺ /Mg ²⁺ | CIC meq.kg ⁻¹ | % COT | C(AH/AF) % | % RH | C/N | pH | CE dS.m ⁻¹ | %Sal 22 °C α: 0.022 |
|--------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|
| SR2 Vc | 15,99±0,05 12,0b±0,05 | 4500b±0,12 6300±0,10 | 1880b±0,40 2100±0,41 | 3,36±0,3 4,02±0,28 | 519,44 ^a 123,04b | 16,35b±0,010 20,90±0,011 | 0,72b 0,80 ^a | 51,2b 87,1 ^a | 11,60b 13,15 ^a | 8,62±0,01 7,60b±0,01 | 4,77b±0,10 12,96±0,13 | 0,25±0,11 0,71±0,10 |
| Es | 0.11 | 0.15 | 0.36 | 0.45 | 0.10 | 0.013 | 0.15 | 0.11 | 0.23 | 0.02 | 0.19 | 0.02 |
| Campo | | | | | | | | | | | | |
| Suelo | ---- | 123b | 175,5b | 3,4a | ---- | 1,47b | 0,12a | ---- | 0,59b | 7,6a | ---- | ---- |
| Sustrato | ---- | 189a | 603,2a | 3,6a | ---- | 5,67a | 0,17a | ---- | 2,42a | 7,2b | ---- | ---- |
| Es | ---- | 0.11 | 0,15 | 0.35 | ---- | 0,22 | 0,18 | ---- | 0,32 | 0,11 | ---- | ---- |

Leyenda: Hum: humedad, CIC: capacidad de intercambio catiónico, COT: carbono orgánico total, porcentaje de carbono en la relación de ácidos húmicos con ácidos fulvicos C (AH/AF)%, RH: relación de humificación, C/N : relación carbono con nitrógeno, CE: conductividad eléctrica, %Sal: porcentaje de salinidad.

TABLA 4. Caracterización del colágeno extraído y de las mezclas para el recubrimiento (Tukey, p<0,05)

| Tratamientos | % Humedad | d (g.ml ⁻³) | pH | TSD (g.L ⁻¹) | % salinidad | CE (mS.cm ⁻¹) | % Cenizas |
|----------------------------------|--------------------|-------------------------|-------|--------------------------|-------------|---------------------------|--------------------|
| Mucílago Nopal (MV) g SR : ml MV | 28.1c | 1,05 | 6.76b | 1.23a | 0.15a | 0.076 | 3.96c |
| 0.5:0.5 | 24.97d | 0.98b | 6.21d | 1.22a | 0.11a | 0.23a | 29.89b |
| 0.5:1 | 25.71d | 1.00b | 7.15a | 1.16b | 0.13a | 0.11b | 38.79 ^a |
| 1:1 | 26.72c | 1.01b | 7.12a | 1.15b | 0.12a | 0.13b | 27.89b |
| 2:1 | 35.71 ^a | 1.10a | 7.20a | 1.32a | 0.08b | 0.10c | 24.93b |
| Es | 0.11 | 0.23 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.019 | 0.18 |

Leyenda: sólido residual: SR, d: densidad, TSD: sólidos disueltos totales, CE: conductividad eléctrica.

El porcentaje de humedad (%H) para las mezclas de revestimiento son inferiores al del extracto del mucílagos, con excepción de la variante que tiene doble sólido residual (SR) y a los descritos en la literatura especializada (Silva, 2017), entre 56,96 -74,02%, valores que pueden variar de acuerdo al método de extracción, el clima donde se desarrolló el nopal y su edad. El pH se encontró a valores más cercanos de 7, fundamentalmente para las proporciones 0,5:1; 1:1, considerando que el SR₂ presenta un pH básico, al unirse con el colágeno que tiene pH de 6,76, estabiliza la mezcla de revestimiento a la zona de neutralidad, aspecto muy beneficioso para el buen funcionamiento metabólico de las semillas (Taiz, 2017) y para poder utilizar este bioproducto como mejorador de las mismas.

Las densidades se encontraron acordes para la correcta entrada de los nutrientes presentes a las semillas, lo cual se corresponde con los % de cenizas y los sólidos disueltos totales (SDT), unido a los valores de la conductividad eléctrica (CE) en las mezclas (Arteaga *et al.*, 2022). Es importante destacar como la combinación de ambos materiales se complementan donde el mucilago cumple, además, una función de corrector y estabilizador de las propiedades del SR, para ser portadores de nutrientes de reservas puestos a disposición de las semillas para su desarrollo posterior; sin llegar a ser excesivo para provocar riesgo de fitotoxicidad, de acuerdo a lo referido por (Caro, 2004). Todo ello, puede resultar en una etapa germinativa de las semillas con mayor probabilidad de ser provechosa, al tener beneficios en la transformación del embrión en plántula capaz de valerse por sí misma y finalmente convertirse en una planta adulta más productiva.

La cantidad de semillas y calidad del revestimiento fue observada a partir del estereoscopio electrónico para los tratamientos evaluados, considerando el área de la superficie recubierta de las semillas (Figura 1 y Tabla 5.). Para el cultivar Mara el porcentaje del número de semillas recubiertas por cada 100 semillas tratadas, se encontró entre el 80 % - 98 %, para Celeste y el Elbita 60-80% de revestimiento.

Esto sugiere que la forma de revestimiento aplicada logra el objetivo propuesto de un mayor porcentaje de semillas recubiertas bajo las condiciones realizadas.

Las proporciones más provisionales fueron la 0,5:1 y 1:1. Siendo más ventajoso el primero pues se utilizaría menor cantidad de sólido residual. Este resultado pudiera



FIGURA 1. Imágenes de las semillas no revestidas y revestidas tomadas con el estereoscopio.

estar dado por la superficie menos vellosa en las caras de las semillas en el cultivar Mara que Celeste y Elbita, lo que consigue dificultar la adherencia de la mezcla de revestimiento (Tabla 5). Sin embargo, en todas se demuestra un efecto positivo del revestimiento de las semillas, tal como se puede apreciar posteriormente.

En la Tabla 5 se muestra además la masa de la mezcla adherida en todos los casos se encontró entre un 37,3 % - 37,6 %. Se hallaron el intervalo entre 0,07 g - 0,08 g, el superior corresponde al cultivar Mara. Esto demuestra que se adhiere a la semilla una capa fina de manera sencilla, lo que permitiría no afectar la calidad física de la misma fundamentalmente su respiración, siendo esto la esencia del revestimiento. En adición, la capacidad hidrolítica de las semillas revestidas calculadas se obtienen valores medios entre 25- 35% para todos los tratamientos, superior en las proporciones 0,5:1 y 1:1 y con relación al control (< 20%). Se resalta la no existencia de un patrón general en el efecto de dosis (bioproducto-dilución), comportamiento semejante al encontrado en el efecto de la aplicación diluciones altas de extractos de vermicompost en semillas de frijol negro (Arteaga *et al.*, 2022).

Esta mayor absorción de agua en las semillas tratadas pudiera tener sus bases en la naturaleza coloidal del SR que puede modificar la existencia de superficies hidrófilas, la distancia entre ellas y el tipo de moléculas que se absorben (Alleva *et al.*, 2010). Estos autores refieren que el porcentaje medio de proteína en la semilla madura se sitúa en general entre el 20 % - 25 %, para variedades de tomate

TABLA 5. Características del recubrimiento de las semillas por cultivares y tratamientos, Tukey, p<0,05

| Tratamientos | % semillas Revestidas | % superficie Recubierta semilla | Masa (g) semillas Revestidas | Masa (g) mezcla Adherida a semilla. |
|---------------|-----------------------|---------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|
| | | | 0.07- 0.08c | |
| control | | | | |
| Mara 0.5:1 | 100a | 90b | 0.1301 ^a | 0.0501 |
| 1:0.5 | 100a | 90b | 0.1205 ^a | 0.0156 |
| 1:1 | 80b | 95 ^a | 0.0956b | 0.0405 |
| Elbita 0.5:1 | 80b | 80b | 0.127 ^a | 0.034 |
| 1:1 | 60d | 80 ^a | 0.1273 ^a | 0.0343 |
| 1:0.5 | 70c | 80b | 0.1285 ^a | 0.0355 |
| Celeste 0.5:1 | 80b | 80b | 0.142 ^a | 0.049 |
| 1:1 | 60d | 80b | 0.138 ^a | 0.045 |
| 1:0.5 | 70c | 80b | 0.1301 ^a | 0.0371 |
| Es | 0.11 | 0.02 | 0.03 | 0.02 |
| | | | | 0.02 |

en un rango de 15 a 22,9 %. Las acuaporinas, proteínas integrales de membranas se han identificado como canales importantes que ayudan a la rehidratación rápida celular (Alleva et al., 2010).

Se tienen referencias del efecto de la aplicación de materia orgánica humificadas sobre estas proteínas en las membranas de la raíz en la estimulación en la entrada de agua y nutriente por la misma (Maqueira et al., 2017); lo cual pudiera explicar el efecto en la semilla al ser tratada con el SR, considerando la composición y la calidad de la materia orgánica humificada presente en el SR₂ (Tabla 2). Los valores de este indicador bajos pueden ser un factor importante a tener en cuenta para la prolongación de la conservación o deterioro de las semillas durante su almacenamiento, de acuerdo a lo referido por Maqueira et al. (2017), como aspecto ventajoso para la sostenibilidad del proceso productivo. Los resultados sugieren que con el recubrimiento no se afecta negativamente la entrada de agua al embrión, el cual necesita disponer del oxígeno suficiente para la obtención de la energía imprescindible para mantener sus actividades vitales y por tanto de entrada de nutrientes al mismo que permitan el adecuado desarrollo natural.

El análisis de las características funcionales (calidad fisiológica) de las semillas después de revestidas se evaluaron a partir de las pruebas de vigor directas e indirectas brindan información de la energía de las mismas. Los valores medios obtenidos para el pH, la CE y los SDT en los lixiviados de las semillas revestidas se reflejan en las Figura 2. El pH de los lixiviados de las semillas revestidas y el control obtenidos de la imbibición en agua bidestilada se presentaron en el rango cercano entre 6 y 7, en la zona neutral, donde las semillas pueden mostrar sus máximas potencialidades en el vigor (Méndez et al., 2007). Aspecto muy positivo, pues según estos autores los exudados con valores de pH < 6 caracterizan a semillas con afectaciones en el vigor, posibilitado por la baja capacidad de las proteínas en la membrana celular para controlar el transporte de electrolitos a estos valores de pH. Las proporciones que más enfatizan estos resultados son la

0,5:0,5 y 0,5:2. De igual modo para esta última, las propiedades restantes

Los valores de SDT (Figura 2), se diferenciaron entre los tratamientos y el control, se mantuvieron cercano a 1,2 g. L⁻¹; mientras que los valores medios del control entre 1,12. Se aprecia una tendencia a ser un poco mayores para las semillas revestidas, presumiblemente facilitado por la carga de minerales contenido en la mezcla, sugerido por el contenido de cenizas (Fig. 2), no constituyendo un peligro fitotóxico para las semillas.

De acuerdo con lo antes expuesto el contenido de cenizas se ve incrementado para todos los tratamientos entre 36-39 g con relación al control (4g). Se corresponden con los referidos para granos en este cultivo (ISTA, 2020). Proporcionado por la densidad de los lixiviados de la semilla entre 0,90-1 g.ml⁻³, que contribuye a facilitar la entrada de nutrientes con el agua a la misma. Parece ser que en alguna medida las mezclas de revestimiento aportan a las semillas nutrientes minerales, en correspondencia con su composición (Maqueira et al., 2017). Del mismo modo, el porcentaje de salinidad (0,02 - 0,03) de los exudados de las semillas tratadas, se presentaron con valores que al incrementarse para los tratamientos tienden a mantenerse en rangos no perjudiciales para las semillas (Romano et al., 2014). Unido a esto, la conductividad eléctrica CE (< 0.3 mS.cm⁻¹), aunque no existen diferencias altamente significativas con el control, existe una tendencia a ser menor, lo que demuestra el beneficio de la mezcla utilizada para el mejoramiento de las semillas, pues los valores de la CE altos pudieran llegar afectar el vigor y la viabilidad de las mismas.

De acuerdo con esto, el revestimiento de las semillas pudiera en alguna medida beneficiar una serie de procesos metabólicos y morfogenéticos cuyo resultado final debe repercutir en la mejoría de la germinación de las semillas; al tener consecuencia en que el embrión se transforme en una plántula que sea capaz de valerse por sí misma y finalmente convertirse en una planta adulta más eficiente; tal como se puede apreciar en el desarrollo morfofisiológico que alcanzan las plántulas de las semillas tratadas.

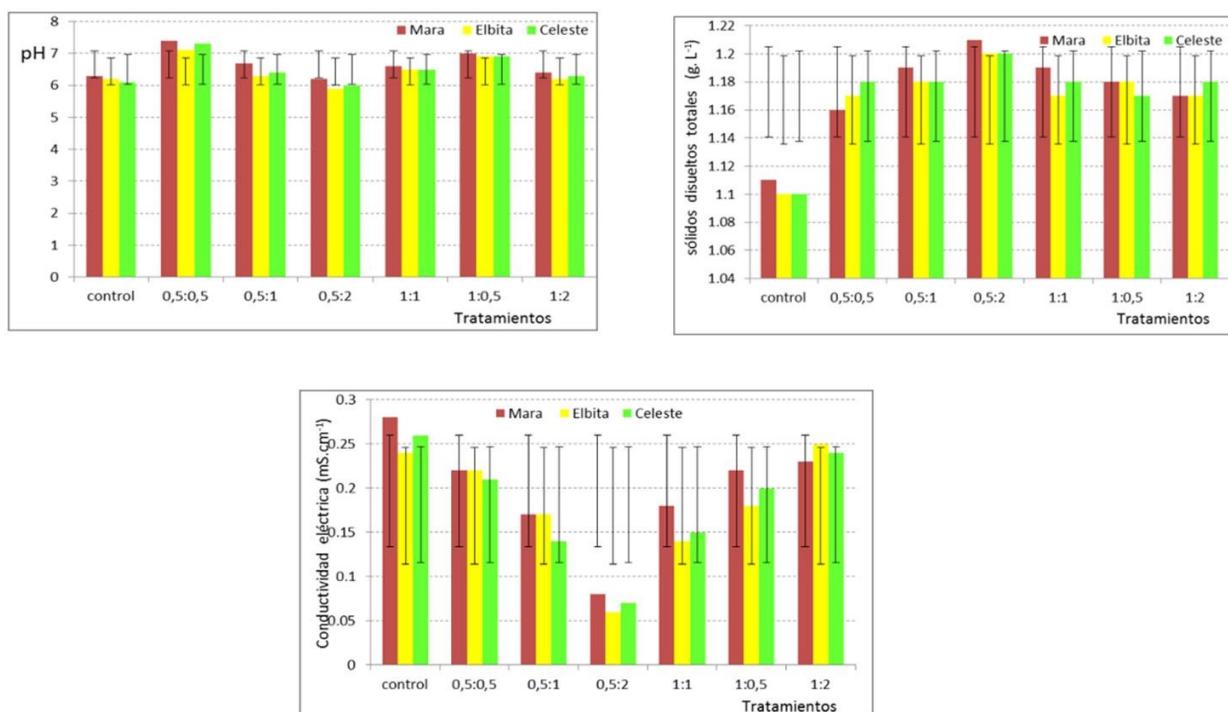


FIGURA 2. Valores medios del pH (Es: 0,067), sólidos totales disueltos TSD (g L^{-1} , Es: 0,010) y conductividad eléctrica CE (mS cm^{-1} , Es: 0,016) en los lixiviados de las semillas tratadas de los cultivares: Mara (Carmelita), Celeste (Amarillo) y Elbita (Verde).

En la Figura 3, se muestra los valores medios del porcentaje de germinación para los tratamientos realizados a las semillas revestidas con relación al control después de 72 h.

De manera general para los tres cultivares los valores medios obtenidos a las 72 h en los tratamientos de revestimiento de las semillas realizados se diferenciaron significativamente ($p<0,05$) con respecto al control de semillas sin revestir. Para este último se presentó el poder germinativo entre 10 - 20 %. Con relación a 'este', los cultivares Mara se incrementó entre un 70-80%, para Celeste y Elbita en 20-30%, con la proporción más promisoria 0,5 g SR con 1 ml de mucílago.

La calidad del proceso germinativo es medida por la relación establecida entre el porcentaje del poder germinativo en este caso evaluado a las 72 h y las plantas normales obtenidas para los tratamientos de revestimiento realizados con relación al control sin revestir (Figura 4). De manera todos los tratamientos se mantienen por debajo del control.

Estos resultados se corroboran con la determinación del índice de velocidad de germinación (IVG) para estos tratamientos más promisorios. Las mayores velocidades de germinación se encontraron en el segundo día para el cultivar Mara con mayor uniformidad. Para esta en los tres primeros días de puesta a germinar las semillas presentaron los mayores índices de velocidades de germinación teniendo más del 50 % +1 germinadas de las totales. Para Elbita a los 6 Dg y Celeste a los 7 días de germinadas (Dg). De acuerdo con los resultados de los tres controles (semillas sin tratar), para cada cultivar se muestra en Mara mayor calidad del proceso germinativo.

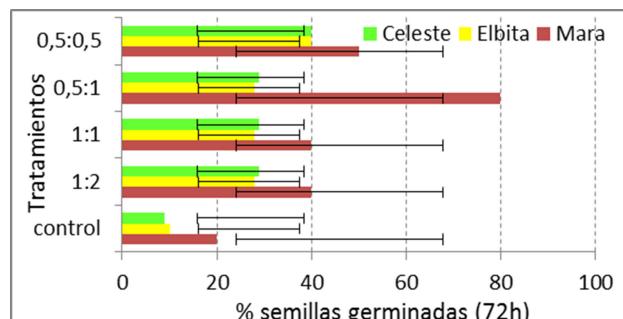


FIGURA 3. Porcentaje de semillas germinadas (SG) a las 72 h de puestas a germinar para los tratamientos de revestimiento realizados con relación al control sin revestir (Es: 0,02).

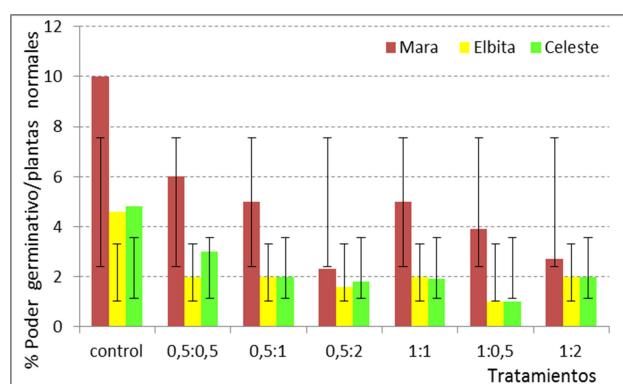


FIGURA 4. Relación entre el porcentaje del poder germinativo a las 72 h y las plantas normales para los tratamientos de revestimiento realizados con relación al control sin revestir (Es: 0,13).

Se corresponde el tiempo medio de emergencia obtenido (**Figura 5**), demostrando una estimulación del proceso germinativo con mayor calidad de acuerdo a los indicadores antes discutidos, para los tratamientos de las semillas, donde el tiempo de emergencia de las plántulas se estimuló 1:1,2 días, menor con las proporciones 0,5:1 y 1:1. Se aprecia como la que tiene el cuatro veces más SR (1:2), se inhibe el proceso de emergencia.

Los análisis de las pruebas de germinación han sido ampliamente utilizados en la evaluación de la calidad de las semillas durante aproximadamente un siglo.

Sin embargo, en los últimos tiempos se ha dado énfasis en las mediciones de otros componentes de la calidad de semillas, el desarrollo de las plántulas en sus primeros estadios y la formación de biomasa, considerados como indicadores del vigor directo de las semillas (**ISTA, 2020**).

La calidad del proceso de desarrollo de las plántulas a los 15 días después de germinadas (ddg), para los tratamientos en estudio, se determinó a través de la evaluación de los indicadores: longitud en cm del tallo (LT) y la raíz (LR).

La **Figura 6**, muestra la calidad del desarrollo de las plántulas, donde los tratamientos con el SR₂ y el colágeno la favorecen en comparación con el control, donde se conservan como más promisorias las proporciones (0,5:1 y 1:1) para los tres cultivares. En cuanto a la longitud del tallo, el cultivar Mara se mantuvo con valores cercanos a 7 cm, para Celeste a 6 cm y Elbita a 5 cm, en correspondencia con el control que mostró valores cercanos a 5 cm.

En el largo de la raíz (**Figura 7**), se mantiene semejante patrón, aunque de manera más promisoria la proporción 0,5:1.

De manera semejante los coeficientes de partición en la biomasa de las plántulas confirman los resultados obtenidos, los cuales se reflejan en la **Figura 8**. En la misma se presentan los valores medios de las masas secas de la raíz, hojas y tallos de las plántulas por cada tratamiento estudiado.

En ella se observa de manera general un efecto positivo en la formación de biomasa por la acción de los diferentes tratamientos utilizados en los revestimientos de las semillas, con diferencias significativas ($p < 0,05$), con relación al control.

En la **Figura 8**, se aprecia que se obtiene una mayor formación de biomasa en las plántulas de las semillas tratadas con relación al control, correspondiéndose con los resultados anteriores, concretamente en las proporciones que hasta el momento se han mostrado más ventajosas (0,5:1; 1:1). En el desarrollo de la biomasa foliar, tallo y la raíz, de acuerdo con lo antes expuesto, se duplicaron prácticamente los valores para los tratamientos con relación al control, con menor expresión en los tratamientos con las proporciones (0,5: 2, 1:2), correspondiéndose con los resultados anteriores.

La relación masa seca foliar/raíz (**Figura 9**), se mantuvo por encima de 2 para todos los tratamientos de revestimiento, más específico en la proporción (0,5:1 y

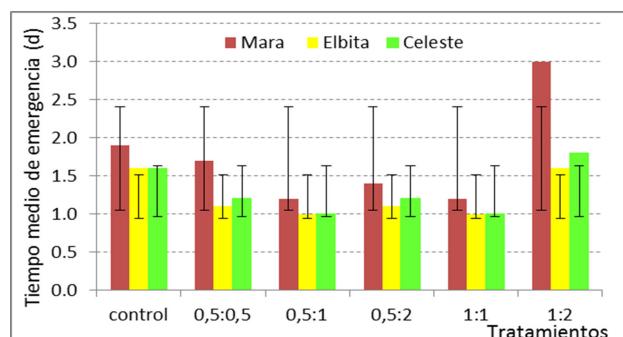


FIGURA 5. Valores medios del tiempo medio de emergencia (días) para cada tratamiento en los tres cultivares en estudio (Es: 0,24).

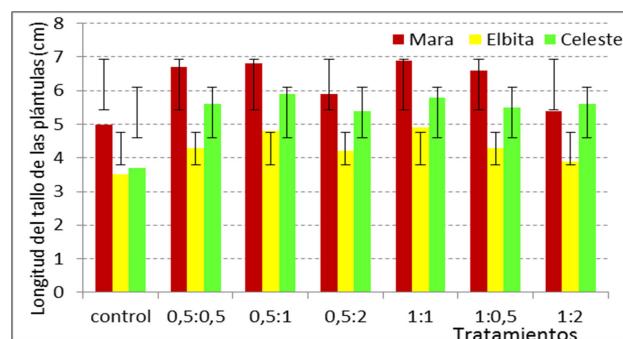


FIGURA 6. Valores medios de la longitud del tallo de las plántulas en cm (Es: 0,20), obtenidas en cada cultivar de tomate.

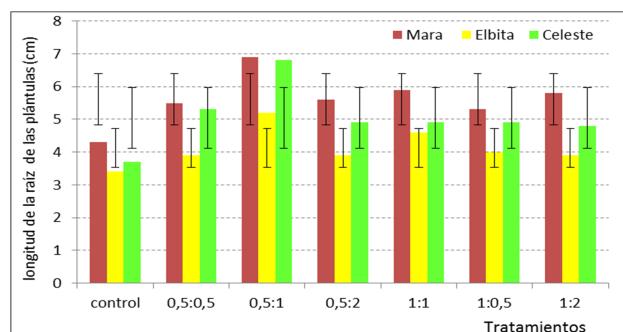


FIGURA 7. Valores medios de la longitud de la raíz en cm de las plántulas (Es: 0,10), obtenidas en cada cultivar de tomate.

1:1) para los tres cultivares, mientras que el control se mantuvo por debajo de 2. De acuerdo con los resultados anteriores, los valores medios obtenidos para los tratamientos mostraron un desarrollo adecuado de las plántulas, indicando un desarrollo acentuado al estar favorecidos procesos más eficientes en la captación y absorción de los nutrientes y de agua en las condiciones de la rizofera, producto de la estimulación de la longitud de la raíz que facilita además el sostén de las plantas, resultados encontrados por **Arteaga (2013)**.

El desarrollo foliar posibilita un aumento de la disponibilidad de la superficie para la captación de la luz para realizar un mayor aprovechamiento del consumo energético en la formación de los pigmentos fotosintéticos y por tanto la productividad primaria bruta del cultivo.

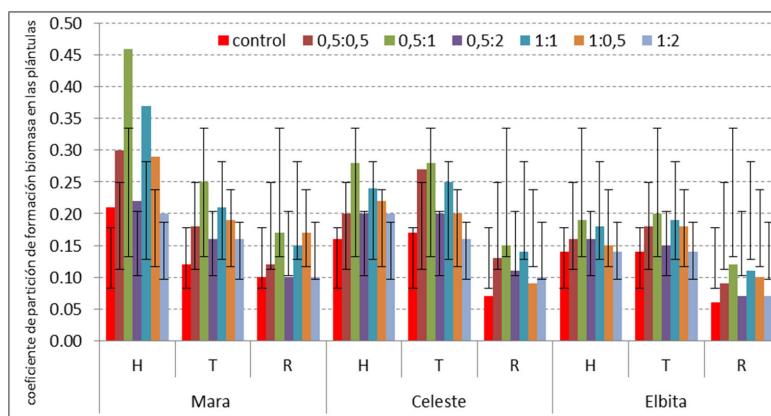


FIGURA 8. Valores medios del coeficiente de partición de formación biomasa en las plántulas (hojas: H, tallo:T y raíz:R), por cada tratamiento 15ddg con respecto al control (E: 0,033).

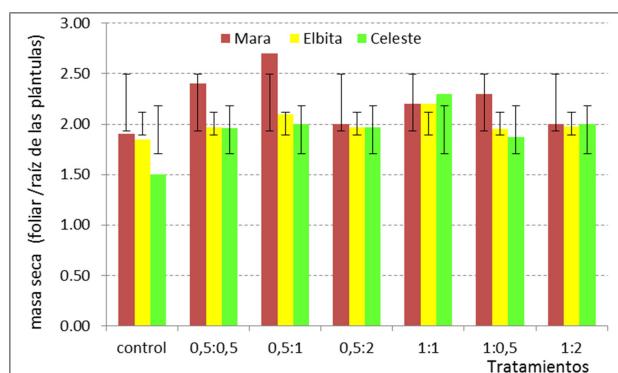


FIGURA 9. Valores medios de la relación masa seca foliar y raíz de las plántulas obtenidas en cada tratamiento (E: 0,024).

Este efecto puede incidir en la mayor eficiencia de los procesos dependiente de la luz como la fotosíntesis, la nitrificación y por consiguiente la regulación interna de la planta relacionada con la demanda de los asimilatos (Flood et al., 2011).

En el experimento de campo donde se montó el semillero con los tratamientos más promisorios, se pudo apreciar (Tabla 6), de manera general diferencias significativas con relación al control en la tasa absoluta de crecimiento (TAC), lo cual sugiere una tendencia mayor en la acumulación de biomasa aportada por cada tratamiento por cada día, más significativo para los más promisorios 0,5:1 y 1:1. Estos resultados se corresponden con los coeficientes de

partición de formación de biomasa en las plántulas por cada tratamiento 15 ddg en los estudios de laboratorio (Fig.9)

Las tasas relativas de crecimiento (TRC) calculadas para las plántulas en cada cultivar confirman los resultados anteriores. Al apreciar los gramos transformados por día, que sugieren cuan eficiente se hace el proceso de elaboración de la biomasa con el revestimiento de las semillas en comparación con el control (Azcón & Talón, 2013). La relación de la TRC que define la biomasa transformada por área foliar también así lo demuestra. Complementados con los valores medios de la Tasa de Asimilación Neta (TAN) que define el incremento en masa de materia vegetal presente por unidad de superficie foliar y por unidad de tiempo. Es un indicador muy importante, pues sugiere el balance entre la fotosíntesis y la respiración. Siendo una base de referencia para medir de manera más precisa la capacidad del sistema responsable de la acumulación de la materia seca, teniendo en cuenta el área foliar específica (figura 10), destacándose los tratamientos en las proporciones 0,5:1 y 1:1 para los tres cultivares.

En adición, se observa un incremento del área foliar específica de las plántulas obtenidas de las semillas revestidas con relación a las no tratadas como controles (Figura 13), para las proporciones más promisorias 0,5:1, 1:1, en los tres cultivares. Esta representa la proporción del área foliar de la plántula por unidad de masa seca presente en el tiempo de 15 d, además de caracterizar el mayor tamaño del aparato asimilativo foliar.

TABLA 6. Valores medios de las tasas de crecimiento de las plántulas para cada tratamiento en condiciones de campo, Tukey, p<0,05

| Tratamientos | Mara | | | | Celeste | | | | Elbita | | | |
|--------------|---|----------------------------|-------------------------------|--|---------|-------|-------------|--------|--------|-------|-------------|--------|
| | TAC g·g ⁻¹ ·d ⁻¹ | TRC g/g·d ⁻¹ | Rel.TRC g.cm ⁻² | TAN g.cm ⁻² ·d ⁻¹ | TAC | TRC | Rel. TRC | TAN | TAC | TRC | Rel. TRC | TAN |
| 0,5:0,5 | 0.020b | 0.26b | 0.08 | 0.021b | 0.016b | 0.27 | 0.075b | 0.020b | 0.010b | 0.31a | 0.07b | 0.021b |
| 0,5:1 | 0.028a | 0.27a | 0.11a | 0.03a | 0.018a | 0.28a | 0.10a | 0.028a | 0.011a | 0.31a | 0.09a | 0.027a |
| 1:1 | 0.024a | 0.27a | 0.11a | 0.028a | 0.017a | 0.28a | 0.10a | 0.029a | 0.011a | 0.31a | 0.10a | 0.030a |
| 1:0,5 | 0.019b | 0.27a | 0.09a | 0.021b | 0.015b | 0.27a | 0.085b | 0.025b | 0.010b | 0.30a | 0.0085a | 0.024b |
| Control | 0.015c | 0.25c | 0.07c | 0.01d | 0.011c | 0.26c | 0.063b | 0.012c | 0.085c | 0.27b | 0.0065c | 0.011c |
| Es | 0.024 | 0.029 | 0.071 | 0.012 | 0.026 | 0.031 | 0.007c | 0.011 | 0.028d | 0.032 | 0.008c | 0.012 |

Leyenda: tasa absoluta de crecimiento (TAC), Las tasas de crecimiento relativo (TRC), Tasa de Asimilación Neta (TAN), relación: Rel.

El efecto se manifestó fundamentalmente a partir del largo de la hoja pues su ancho no varió lo que se corresponde con lo referido por [Arteaga \(2013\)](#), para plántulas de tomates cuya semillas se trataron con extractos de vermicompost.

En Mara se obtuvo un incremento de un 97 % del largo de la hoja (LH) y del AF cercano a un 42 %. Celeste y Elbita, se duplicaron el valor del LH, para 33 % y 25 % respectivamente con respecto al control. En consecuencia, sugieren un proceso fotosintético más propicio en estas semillas revestidas y por tanto en la elaboración de biomasa por parte de ellas.

Con los cálculos de la tasa de crecimiento en la formación de biomasa se verifica el efecto bioestimulante de los revestimientos realizados con relación al control.

De acuerdo con los resultados antes expuestos la proporción que se generaliza como más promisoria en la estimulación y/o mantenimiento de la calidad física y fisiológica de las semillas es la que se le aplica 0,5g de sólido residual con 1 ml de colágeno.

Sugieren que dichas plántulas pueden 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 y raíz), repercutiendo en la mayor formación de biomasa, parte de la formación de las hojas y tallo ([Nardi et al., 2016](#)). Este efecto corrobora lo antes expresado en el análisis de la calidad de las semillas.

Estos resultados sugieren una mayor eficiencia energética del proceso productivo en sí, lo que contribuye en el equilibrio que debe existir entre la energía cosechada por unidad de energía utilizada, avalados además, por la composición de los sólidos residuales y del mucílago, formados por grupos de alta actividad biológica como las hormonas vegetales y precursores de estos: giberelinas, citoquininas, AIA, AIP; la fracción humificada de la materia orgánica estabilizada (49% AH y 51% AF), la no humificada (AAs, proteínas, vitaminas), la fracción mineral formado por 12 macro y micro elementos; la que puede ser suministrada para el correcto desarrollo de las plántulas.

Se puede asociar además, la estimulación de la semilla encontrada a la bioactividad que pueden ejercer los ácidos húmicos contenidos en el SR de tipo “like-gibberellin”, influenciada por el contenido de fracciones estructurales que pueden expresar actividad hormonal mediante el reconocimiento molecular y desencadenar una serie de señales similares a la de las fitohormonas vegetales promoviendo la elongación celular en la semillas tratadas ([Zandonadi et al., 2014](#)). No se puede dejar a un lado el papel nutricional por el contenido de minerales presentes en los SR y del mucílago, de acuerdo a los análisis cuantitativos realizados de cenizas de las semillas.

Al respecto, [Arteaga \(2013\)](#) encontró estímulos en la longitud y emisión de raíces de plántulas de tomate con extracto de vermicompost obtenidos con el protocolo de [Caro \(2004\)](#) en diluciones de 1:40 y 1:60, los valores de la masa seca de todos los tratamientos con extractos fueron significativamente superiores al control. Según [Du Jardin \(2015\)](#), las sustancias húmicas

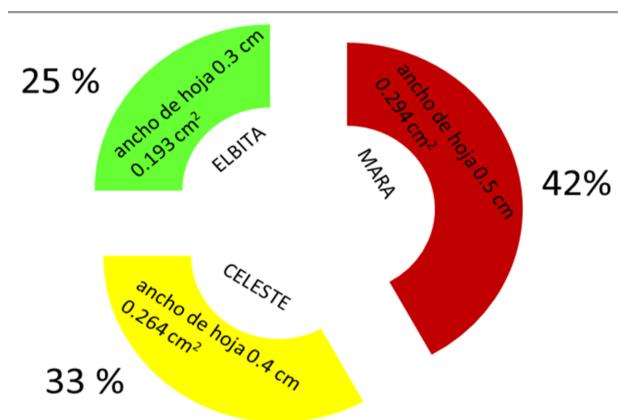


FIGURA 10. Incremento en el porciento del área foliar específica (AFE) de las plántulas obtenidas con semillas revestidas con relación al control para los tratamientos más promisorios (Es: 11,34).

modifican directamente el metabolismo de las plantas y por consiguiente, pueden influir en su crecimiento y desarrollo. dado por la influencia positiva en el transporte de iones, facilitando la absorción y permeabilidad de las membranas, la acción directa sobre procesos metabólicos como la fotosíntesis, respiración y síntesis de proteínas mediante el aumento o disminución de la actividad de diversas enzimas y la actividad hormonal de estas sustancias. La aplicación de SR₂ a las semillas tuvo una influencia estimuladora en la producción de masa fresca lo que significaría una mayor acumulación de agua en los tejidos, de acuerdo con lo antes analizado.

La estimulación en la arquitectura de las raíces de las plantas por la aplicación de SH de diferentes tipos y orígenes, está bien justificada y ha sido relacionada con la actividad típica equivalente al ácido 3-indol acético (AIA) de las sustancias húmicas mediante la estimulación de la actividad H⁺-ATPasa de membrana plasmática ([Muscolo et al., 2007](#)). Según estos autores, las sustancias húmicas pueden inducir múltiples efectos benéficos en el crecimiento de las plantas, que puede ser desde la estimulación de las semillas, como son el aumento de la masa seca y la acumulación de elementos minerales, lo que puede fundamentarse con el incremento de las cenizas obtenido.

Lo antes expuesto, demuestra que el recubrimiento no ofrece resistencia alguna al desarrollo de la raíz y la parte aérea de las plántulas, sugiriendo ser un proveedor de principios activos que logran la bioestimulación de la germinación de las semillas y crecimiento de las plántulas. Esta alternativa del mejoramiento agroecológico de las semillas se mostró ventajosa su aplicación en la finca pues con los resultados obtenidos en la etapa de semilleros se garantizaban la producción futura de dichos cultivos de tomate. Aspecto que plantea con dificultades el productor de la finca en cuanto a lograr una producción sostenible y de calidad. Aspecto de gran ventaja para las condiciones de dificultades con los riegos en el sistema productivo, como el caso de estudio de la finca “La esperanza” de la presente investigación.

Con los resultados obtenidos se pudo comprobar el impacto ecológico con la reutilización de los residuos sólidos del proceso de obtención de extractos de vermicompost, cuya materia prima original es derivada de un sistema agroproductivo local. El cuál aún no había sido validado a pesar de contener todavía composición bioactiva. Realizar una mayor gestión en la eficiencia de su aplicación como bioestimulantes, con tratamientos con carácter natural como promotores del proceso de germinación para preservar la calidad de las semillas y plántulas en la epata de semillero; potenciando el cultivo para la obtención de mayores rendimientos y calidad de los productos obtenidos, el medio ambiente y rentabilidad para el proceso productivo.

Como fruto de la investigación se derivó un procedimiento de tratamiento de semillas de tomate validado en tres cultivares del mismo muy utilizadas por los productores locales, provinciales y en el país, el cual consta de cinco pasos fundamentales que se resumen en la Figura 11.



FIGURA 11. Procedimiento propuesto para el revestimiento de semillas de tomate con residuos naturales.

El procedimiento que se propone para el tratamiento de semillas de tomate puede ser aplicado in situ por los productores con la autogestión en su sistema productivo, pues son residuos que se encuentran en los mismos y se puede adecuar los pasos de acuerdo a las condiciones existentes en el mismo.

Como el proceso de compostaje de residuo vegetal, estiércol animal y la posterior preparación para el mejoramiento de las semillas y aplicar por el propio productor; independientemente de poderlo obtener comercialmente con la compra de la semilla ya tratada después de ocurrida su extensión. Esta alternativa que se propone puede contribuir al manejo agroecológico en un sistema productivo que puede adecuarse e incluirse a la tecnología existente en los mismos.

Se realizó la evaluación económica cualitativa de los estudios realizados bajo las condiciones establecidas: (I) Se valoró el impacto del reciclaje del sólido residual de la segunda extracción (SR_2), 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 e incrementar la eficiencia en la gestión, mayores alternativas de aplicación y formulaciones. (II) Le da valor de agregado también un mucílago vegetal que no se le da utilidad en el país, a pesar de la composición tan rica en nutrientes que presenta. (III) Logra ampliar la vía de aplicación desde el revestimiento de las semillas, que permiten modificar la calidad de las mismas preparadas para enfrentar las condiciones de estrés en los agroecosistemas, en el almacenaje, así como eficiencia en su utilización para lograr mayor productividad en el tomate de interés económico, dándole mayor garantía al productor a obtener mayores ganancias económica. (IV) Con un menor consumo de los SR (0,5g) e incluso de colágeno utilizado (1ml), se acelera los índices de germinación de las semillas y en la etapa vegetativa de las plántulas de formación de biomasa en más de un 50 % en masa seca con relación al control, obteniéndose mayor eficiencia y pronóstico de ventajas en el proceso productivo y de almacenaje en la disminución de fitopatógenos (López, 2017).

Estos resultados se traducen en la disminución de los costos de producción con un mejor manejo para la aplicación del producto a la semilla y el mayor aprovechamiento del área de cultivo a partir de la mejora de la calidad de las semillas potenciadas nutritivamente y vigorosas mediante una estrategia de desarrollo agrícola autoreguladora y sostenible local amigable con el medio ambiente que tiene sus bases en principios agroecológicos y de economía circular que hace posible un manejo ecológico.

CONCLUSIONES

Se establecieron las condiciones más idóneas a nivel de laboratorio para el revestimiento de semillas de cultivares de tomate con los agromateriales reciclados, en cuanto a su preparación, proporciones de las mezclas de revestimiento del sólido residual con el colágeno vegetal, evaluación de la calidad del revestimiento de las semillas tratadas y valoración económica del proceso. Se consiguió un 80-95 % de semillas recubiertas con 40- 98 % de la superficie recubierta y masa de la mezcla adherida de 0,30-0,60 g. Se comprobó el efecto del revestimiento de semillas de cultivares de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), con los agromateriales reciclados sobre indicadores de la calidad física, a través de sus lixiviados, con pH neutros a pesar de las tendencias básicas del sólido residual, de la conductividad eléctrica y en el aporte de nutrientes. En la calidad fisiológica de las semillas, demuestra ser un potenciador de la germinación de las semillas, pues la incrementó entre un 30-80% la calidad del poder germinativo con relación al control y en un 50 - 84,6 % los coeficientes de formación de biomasa en las plántulas obtenidas en las primeras etapas de crecimiento en experimentos de laboratorio y campo; lo que evidencia un aumento en la eficiencia en la intensidad con que la biomasa es producida y el uso de la misma para lograrla, siendo más promisorias las proporciones 0,5: 1 y 1:1.

La valoración económica del proceso se manifiesta al utilizar un menor consumo de agromateriales para lograr un efecto promotor en las semillas revestidas en la etapa de semillero en los indicadores fisiológicos: calidad del proceso germinativo, formación de biomasa, tasas de crecimiento de las plántulas en condiciones de laboratorio y productivo; lo que prevé un proceso productivo más ventajoso condicionado con las externalidades positiva en su impacto ambiental. Se propone como una alternativa que permitirá el desarrollo de una agricultura circular sostenible. El procedimiento propuesto contribuye a la autogestión del uso eficiente del reciclaje de estos recursos endógenos, logrando la rehabilitación de los residuos a nivel local y alcanzar un manejo agroecológico de las semillas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alleva, K., Marquez, M., Villarreal, N., Mut, P., Bustamante, C., Bellati, J., Martínez, G., Civello, M., & Amodeo, G. (2010). Cloning, functional characterization, and co-expression studies of a novel aquaporin (FaPIP2; 1) of strawberry fruit. *Journal of Experimental Botany*, 61(14), 3935-3945, ISSN: 1460-2431, Publisher: Oxford University Press.
- Arteaga, B. M., Mederos, G. D. A., Pino, R. J. A., Rebato, M. S., Díaz, A. B., Veobides, H., & Castro, L. I. (2022). Impacto del tratamiento pregerminativo de semillas de frijol negro con extractos derivados de Vermicompost reciclados. *Ingeniería Agrícola*, 12(3), ISSN: 2306-1545.
- Arteaga, M. (2013). Liplant: Alternativa para la producción ecológica del tomate (*Solanum lycopersicum* Linneo) y la conservación del medio edáfico [Tesis de Doctoral]. Universidad Agraria de La Habana.
- Azcón, J., & Talón, M. (2013). Fundamentos de fisiología vegetal. 2 a Edición. Editorial Ediciones de la UB, Barcelona, España, 707.
- 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 presentada en opción al Título de Master en Ciencias de la Química Agraria]. Universidad Agraria de La Habana, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.
- Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia horticulturae*, 196, 3-14, ISSN: 0304-4238, Publisher: Elsevier.
- FAO. (2023). Mejores semillas para una mejor producción. Sistemas de semillas declaradas. Food and Agriculture Organization, FAO, Rome, Italy.
- Flood, M., Léon, L. L., Rodríguez, J., Ramírez, L. L., Medina, M. J., & Bernad, B. (2011). Effects of drying conditions on the rheological properties of reconstituted mucilage solutions (*Opuntia ficus-indica*). *Carbohydrate Polymers*, 84, 439-445.
- Galicia, V. I., Escamilla, G. P., Alvarado, R. H., Aquino, G. L., Serna, A. H., & Hernández, C. L. (2017). Plantación experimental de nopal para evaluación de sistemas de fertilización y extracción de mucílago. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(5), 1087-1099.
- Hernández, J. A., Morales, D. M., Borges, B. Y., Vargas, B. D., Cabrera, R. J., Ascanio, G. M., Ríos, L. H., Funes, M. F., Bernal, F. A., & González, C. P. (2014). Degrado de las propiedades de los suelos ferralíticos rojos lixiviados de la "Llanura Roja de la habana", por el cultivo continuado y algunos resultados sobre su mejoramiento (pp. 70-71). grupo ediciones INCA, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.
- INTA. (2017). Manual técnico del cultivo de tomate. INTA Ed. ISBN: 978-9968-586-27-6.
- ISTA. (2020). Testing Association. International rules for seed testing. ISTA, Suiza.
- López, L. (2017). Manual técnico del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*). Innovación para la seguridad alimentaria y nutricional en Centroamérica y Panamá. Costa Rica. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología.
- Maqueira, L. L. A., Rojan, H. O., Mesa, P. S. A., & De la Noval, T. (2017). Crecimiento y rendimiento de cultivares de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) en la localidad de Los Palacios. *Cultivos Tropicales*, 38(3), 58-63, ISSN: 0258-5936, Publisher: Ediciones INCA.
- Muscolo, A., Sidari, M., Attinà, E., Francioso, O., Tugnoli, V., & Nardi, S. (2007). Biological activity of humic substances is related to their chemical structure. *Soil Science Society of America Journal*, 71(1), 75-85, 0361-5995, Publisher: Wiley Online Library.
- 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, ISSN: 1678-992X, Publisher: SciELO Brasil.
- NC: 1018, 2014. (2014). Humus de Lombriz - Especificaciones (pp. 6, Publisher: Oficina Nacional de Nacionalización). Cuban National Bureau of Standards, La Haban, Cuba. <http://www.nc.cubaindustria.cu>
- OCDE-FAO, O. (2020). Perspectivas Agrícolas 2020-2029 (p. Publisher: OECD Publishing, Paris/Food and Agriculture Organization of the United ...). OCDE-FAO.
- ONEI-Cuba. (2021). Servicios informativos de la oficina nacional. Anuario Estadístico. SIEN-21. Oficina Nacional de Estadísticas de la República de Cuba (ONEI), Ed. 21. : <http://www.onei.cu>
- Paneque, P. V. M., & Calaña, J. C. (2015). Abonos Orgánicos. Conceptos prácticos para su evaluación y aplicación (p. 54). Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales (ACTAF, Mayabeque).
- Rodríguez, F. P. A. (2017). Impacto del lixiviado de humus de lombriz sobre el crecimiento y productividad del cultivo de habichuela (*vigna unguiculata* l. walp). *Ciencia en su PC*, №2, abril-junio. pp. 44-58, ISSN: 1027-2887.

- Romano, A., Argüello, J., Teves, I., De Pascuale, N., & Oddone, G. (2014). Evaluación de los efectos del deterioro sobre el potencial fisiológico de semillas de poroto (*Phaseolus vulgaris* L.) por prueba de tetrazolio. *Idesia* (Arica), 32(3), 25-30, ISSN: 0718-3429, Publisher: SciELO Chile.
- Sánchez, J., & Furrazola, E. (2018). Ecotecnologías para la restauración ecológica: Los tratamientos de semillas y las micorrizas. Editorial Academia, La Habana, Cuba.
- Santos, G., & Camargo, F. (2014). Fundamentos de la materia orgánica de los suelos. *Ecosistemas Tropicales y Subtropicales* (2da ed.). 2da Génesis Ed. Brasil.
- Silva, M. N. (2017). Extracción del mucílago de la penca de tuna y su aplicación en el proceso de coagulación-floculación de aguas turbias. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniera Química. Facultad de Química e Ingeniería Química. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima. Perú. 132 p.
- Taiz. (2017). *Fisiología Vegetal*. Porto Alegre: Artmed, Brasil.
- Torres, P. R. L., Morales, C. D., Ballinas, C. M., & Nevárez-Moorillón, M. G. (2015). El nopal: Planta del semidesierto con aplicaciones en farmacia, alimentos y nutrición animal. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(5), 1129-1142, ISSN: 2007-0934, Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- UICS, Grupo de trabajo del WRB, 2006: Base de referencial mundial de recursos de suelo. Informes sobre recursos mundiales de suelo N.103 FAO, ISRIC, IUSS 2008, 117p.
- Zandonadi, D. B., Santos, M. P., Mediciç, L. O., & Silva, A. P. (2014). Ação da matéria orgânica e suas frações sobre a fisiologia de hortaliças. *Horticultura Brasileira*, 32, 14-20.

Mayra Arteaga-Barrueta. Profesor Titular, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Agronomía, Departamento de Química, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

José Antonio Pino-Roque. Profesor Auxiliar, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, Departamento de Matemáticas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. E-mail: pino@unah.edu.cu.

Rocío Sánchez-Rosales. Colaboradora Grupo Inv. Residuo Dpto. Química. Sistema Nacional de Investigaciones, Profesor Investigador, Dr.C. Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Universidad Autónoma de Chiguagua, México. E-mail: rociosanchezrosalez@gmail.com.

Ambar Rosa Guzmán-Morales. Dr.C., Prof. Auxiliar, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Agronomía, Grupo Científico FITOPLANT, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. E-mail: ambar@unah.edu.cu.

Helen Veubides. Profesora Auxiliar, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Agronomía, Departamento de Química, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. E-mail: helen@unah.edu.cu.

Luis A. Montejo-Mesa. Instructor, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Agronomía, Departamento de Química, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. E-mail: lamontejo@unah.edu.cu.

Ma. Margarita Díaz-de Armas. Profesor Auxiliar, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Agronomía, Departamento de Química, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. E-mail: mariam@unah.edu.cu.

Omar Cartaya Rubio. Investigador Titular. Instituto Nacional de Ciencias Agropecuarias INCA, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. E-mail: ocartaya@inca.edu.cu.

Yaisys Blanco Valdés. Investigador Titular. Instituto Nacional de Ciencias Agropecuarias INCA, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. E-mail: yaisys@inca.edu.cu.

Anacacis Strauss-Oliver. Ing., Grupo Científico MOBI, Estudiantes Maestría de Agroecología y sostenibilidad, Facultad de Agronomía, Universidad Agraria de La Habana "Fructuoso Rodríguez Pérez", Cuba. E-mail: Anacacis@unah.edu.cu.

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.