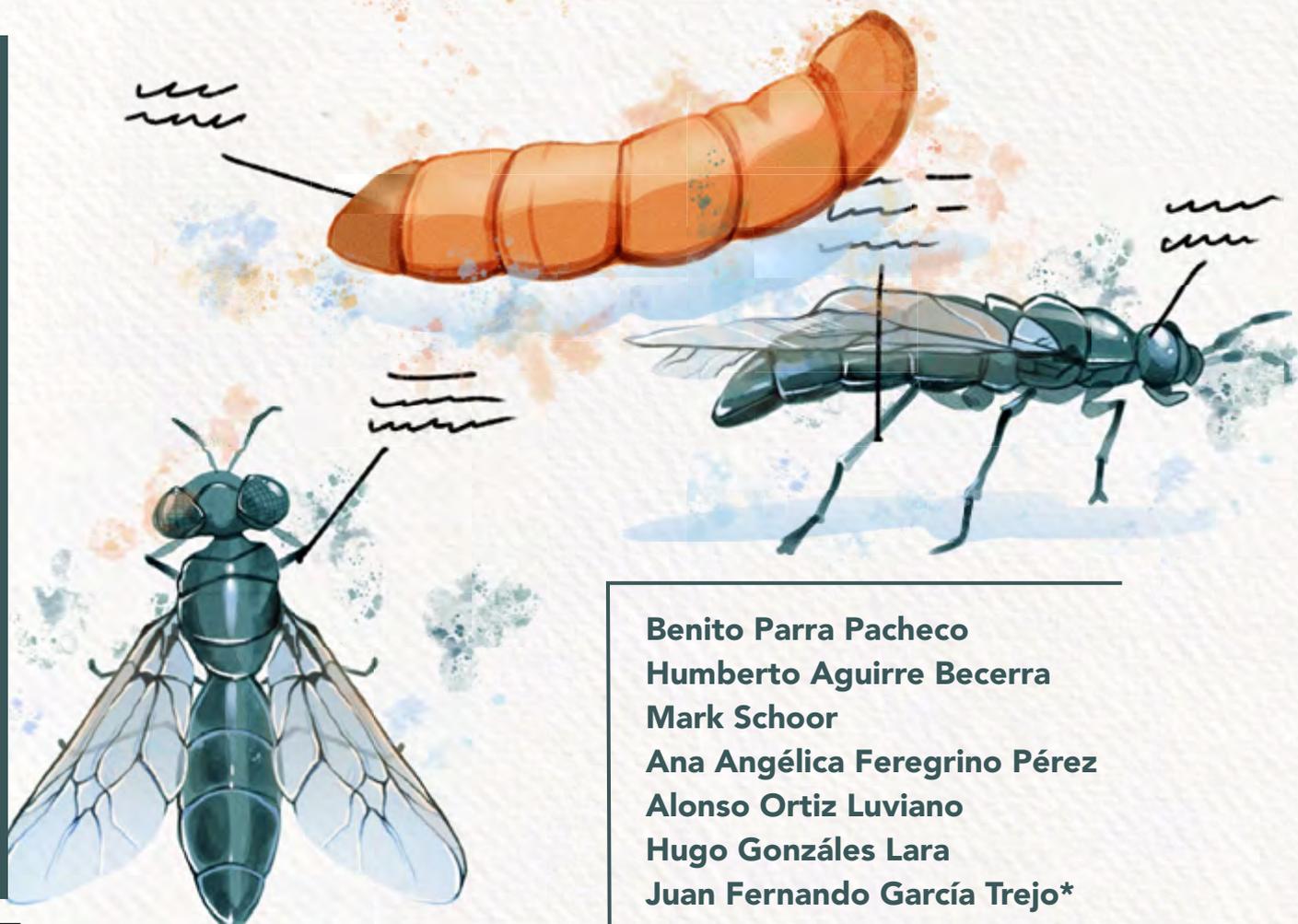


CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS DE LA LARVA DE MOSCA SOLDADO NEGRO (*HERMETIA ILLUCENS*) ALIMENTADA CON RESIDUOS DE JITOMATE

ANATOMICAL CHARACTERISTICS OF BLACK
SOLDIER FLY LARVAE (*HERMETIA ILLUCENS*) FED
WITH TOMATO RESIDUES



Benito Parra Pacheco
Humberto Aguirre Becerra
Mark Schoor
Ana Angélica Feregrino Pérez
Alonso Ortiz Luviano
Hugo Gonzáles Lara
Juan Fernando García Trejo*

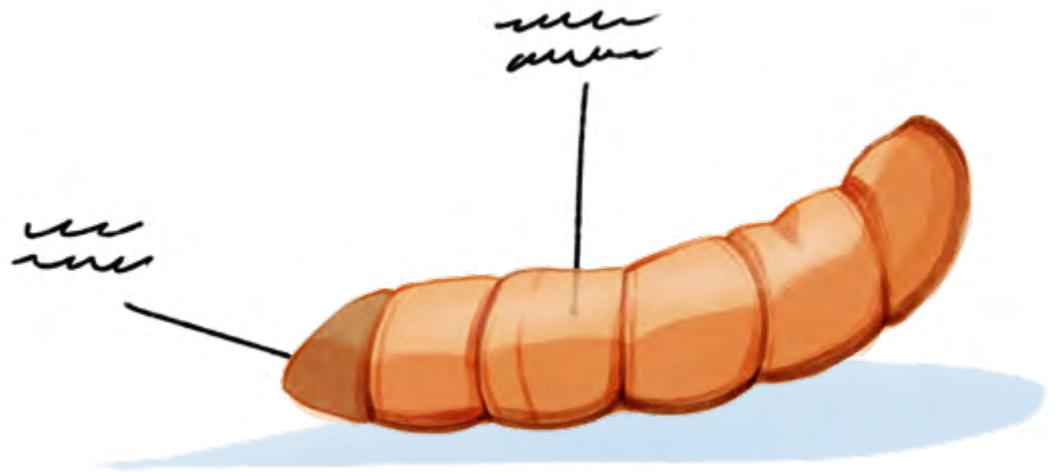
Universidad Autónoma de Querétaro,
Santiago de Querétaro, México

*fernando.garcia@uaq.mx

Resumen

En este estudio se evalúa la eficacia de los residuos de plantas de jitomate como fuente de alimentación para la larva de mosca soldado negra. Se suministraron dietas a base de frutos, tallos y hojas a estos organismos (además de una dieta estándar como control) y se cuantificaron peso, dimensiones y mortalidad de los especímenes al final del proceso. El mayor peso se obtuvo de los residuos de fruto, mientras que los más bajos se presentaron en las larvas alimentadas con tallos; dicha dieta, además, presentó el mayor porcentaje de mortalidad, seguida de las hojas y por último el fruto. Por otro lado, la longitud larval mostró un gradiente de tamaño: las más pequeñas se presentaron en tallo, seguido de hoja y finalmente fruto; sin embargo, las más grandes fueron obtenidas del control. En cuanto al ancho de las larvas, el valor más alto alcanzado en todos los alimentos y dosis fue de 4 mm, mientras que el control presentó valores cercanos a los 5 mm. Se concluye que, aunque el residuo de jitomate expone un desempeño inferior a la dieta estandarizada, su potencial podría explotarse mediante métodos de pretratamiento.

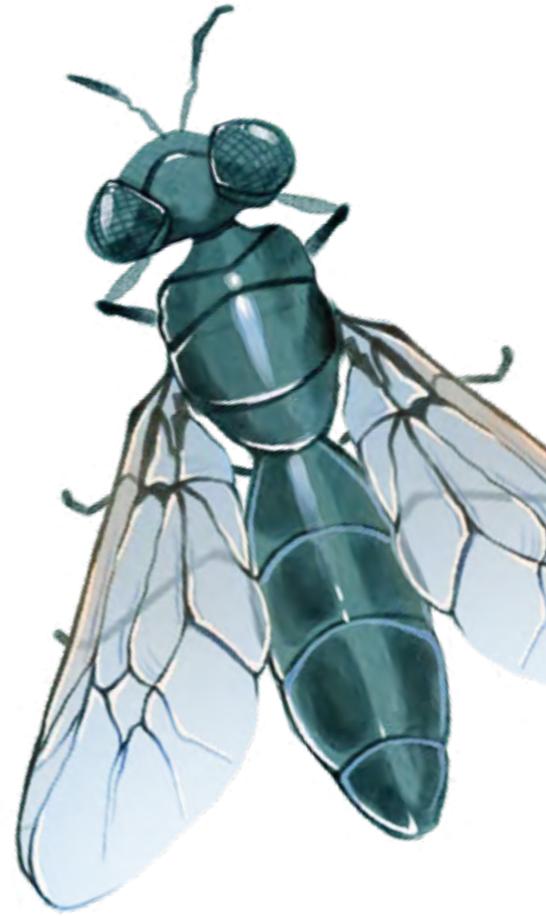
Palabras clave: agroindustria, características anatómicas, *Hermetia illucens*, residuos de jitomate.



Abstract

In this study, the efficacy of tomato plant residues as a food source for black soldier fly larvae is evaluated. Diets based on fruits, stems and leaves were fed to these organisms and weights and dimensions of the specimens at the end of the process were quantified. The highest weights were obtained from fruit residues, while the lowest weights were obtained from larvae fed with stems; this diet also presented the highest mortality interval, followed by leaves and finally fruit. On the other hand, larval length presented a size gradient: the smallest larvae were found in stems, followed by leaves and finally fruit; however, the largest larvae were obtained from the control. As for the larval width, the larval width was 4 mm for all foods and doses, while the control presented values close to 5 mm. It is concluded that, although the tomato residue presents a lower performance than the standardized diet, its potential could be exploited by pretreatment methods.

Keywords: agroindustry, anatomical characteristics, *Hermetia illucens*, tomato residues.





Introducción

La larva de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) es un díptero perteneciente a la familia *Stratiomyidae*; numerosos estudios se han centrado en este organismo debido a su eficiencia en la conversión de residuos orgánicos de origen vegetal y animal en comparación con otras especies [1]. La generación de residuos orgánicos en la industria va en aumento debido a la demanda de alimentos para animales y humanos, como resultado del incremento de la población mundial [2], lo cual implica un desafío para la humanidad. Los métodos existentes para el tratamiento de restos orgánicos (rellenos sanitarios, sitios de disposición a cielo abierto, compostaje o incineración [3]) en ocasiones resultan insuficientes a causa de la ingente cantidad desechada diariamente; así, la resultante contaminación de suelo, agua y aire pone en riesgo la salud de las comunidades y la integridad de ecosistemas completos [4]. Otro aspecto a considerar en la disposición de residuos orgánicos es el tiempo de descomposición, que depende de la constitución bioquímica mayoritaria del desecho orgánico; cuando la descomposición requiere lapsos extendidos, se crean focos de infección, alojamiento de plagas [5] y emisiones de gases de efecto invernadero [6].

Por otro lado, la agricultura es uno de los sectores donde abundan los residuos orgánicos: se estiman 1300 millones de toneladas durante la cadena de producción, manejo, almacenamiento, procesamiento, distribución y consumo [7]. Parte de esta masa se reaprovecha como alimento para ganado, principalmente la procedente del cultivo de cereales y leguminosas [8]. Existen dos categorías de estos desechos: fibrosos y salvados; la digestibilidad puede ser alta (como la cáscara de soya y pulpa de cítricos), o baja en el caso del bagazo de caña de azúcar, cáscara de cacahuate y harina de cacao [9]; algunas funciones de tales despojos son aportar proteína cruda, energía y antioxidantes [10]. En función de su tipo, los residuos generados en la agroindustria son procesados como ingrediente principal o suplementario en la formulación de alimentos. Por otro lado, existen residuos orgánicos sin valor comercial e inaprovechables en otras cadenas productivas; es decir, difíciles de incorporar a la economía circular, dados su contenido de componentes antinutricionales y baja digestibilidad [11].

Algunos estudios se han enfocado en los residuos alimenticios no aptos para el consumo animal; por ejemplo, en [12] se evaluó la pasta de jitomate para la alimentación de ganado caprino a inclusión máxima del 40 % de la dieta en peso seco; el resultado fue un aumento en la producción



y contenido lipídico en la leche. En contraparte, otro estudio revela que la ingesta del jitomate mayor a 1.5 kg (100 g materia seca) por día puede causar heces blandas en las cabras; a su vez, el contenido nutricional de la planta de tomate presentó una baja disponibilidad ruminal de proteína bruta [13]. Aquí cabe añadir que hay tecnologías alternativas cuyo objetivo es el aprovechamiento holístico de los residuos de tomate: para la generación de carbohidratos [14], procesamiento de los tallos como material de construcción [15], elaboración de compostas [16], producción de celulosa [17], vermicomposta [18], extracción de compuestos bioactivos [19], entre otras.

Como se mencionó al inicio, la larva de mosca soldado negro (LMSN) exhibe potencial como herramienta biológica para el tratamiento de residuos orgánicos [1]; se han llevado a cabo pruebas en lodos fecales, heces, estiércol vacuno, cadáveres de aves, desechos frutales, vegetales y restaurantes [20], [21], [22]. Otros autores han intentado sin éxito alimentar la larva con hojas de la planta de jitomate: hallaron una mortalidad del 100 % [23]. Por tanto, el presente trabajo se propone reivindicar la planta de jitomate como dieta eficaz para la LMSN mediante la caracterización anatómica (longitud, anchura y peso) y tasación de mortalidad de la LMSN alimentada con dicha materia.

Metodología

Obtención de la LMSN

Las larvas de mosca soldado negra se recolectaron de la planta de reproducción del laboratorio de bioingeniería de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro. Contaban con seis días de vida y habían sido alimentadas con una dieta estandarizada hasta ese punto.

Obtención de residuos de la planta de jitomate

Los residuos de la planta de jitomate se rescataron de los invernaderos de la Universidad Autónoma de Querétaro; la variedad utilizada fue *Saladette* (portainjerto: multifort; injerto: variedad "macizo"). Las hojas se recogieron tras la poda de las plantas de tomate; se eligieron los frutos no aptos para la venta debido a su color, forma, integridad o por deficiencia nutritiva. Los tallos se colectaron durante la etapa final de la producción del cultivo de tomate.



...La larva de mosca soldado negra es un díptero eficaz en la conversión de residuos orgánicos de origen vegetal y animal. En este estudio, se evalúa la eficacia de los residuos de plantas de jitomate como fuente de alimentación para la larva.



En lo sucesivo, el material se almacenó a $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ en un congelador Torrey CHTC16QW; posteriormente se descongelaron a temperatura ambiente y se introdujeron en una trituradora de ensilaje de 12 hp (Azteca) para obtener fragmentos pequeños.

Dosis de alimento

Las seis dietas seleccionadas se clasifican con base en la parte de la planta: hojas, frutos y tallos; y la cantidad de alimento brindado a las larvas: 100, 150, 200, 250, 300 y 350 mg/larva/día. Se colocó cada tipo de residuo por triplicado en un recipiente plástico circular de 500 ml cubierto con una tapa perforada con 35 agujeros de $3/8''$. Se implantaron 30 larvas en cada contenedor y se introdujeron en una incubadora microbiológica Thermo Scientific IGS100 a $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 10 días con un fotoperiodo de 0:24 horas (luz:oscuridad) sin regulación de humedad relativa.

Como control se adoptó la dieta Gainesville, popular para el cultivo de este organismo en procesos industriales. La cantidad utilizada fue 200 mg alimento/larva/día. Tanto el control como las dosis de residuos de jitomate se reportan en peso húmedo.

Cálculo de mortalidad y medición de características anatómicas

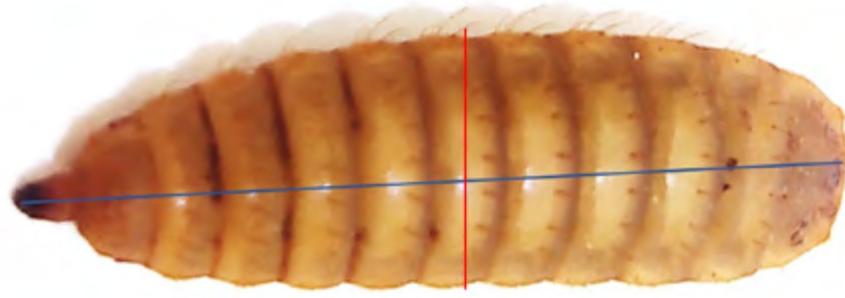
El porcentaje de mortalidad se calculó mediante la Ecuación 1 después de los 10 días que duró el experimento. Se entiende como la proporción de larvas que no sobrevivieron al tratamiento respecto a la totalidad de individuos que lo iniciaron.

$$\%M = \frac{\text{numero de larvas iniciales} - \text{numero de larvas cosechadas}}{\text{numero de larvas iniciales}} \times 100$$

Por su parte, la longitud se tomó desde la cabeza hasta la cola de la larva con ayuda de un vernier digital. La anchura se graduó en la parte media del cuerpo larval (Figura 1).



FIGURA 1. Representación de toma de medidas de la LMSN: largo (línea azul) y ancho (línea roja).



Resultados y discusión

Porcentaje de mortalidad

TABLA 1. Mortalidad en los residuos utilizados como alimento a diferentes dosis.

La mortalidad más elevada se presentó en la dosis de 100 mg/larva/día de tallo, con un 33 %, debido a que uno de los triplicados para esta dosis murió entre los días 9 y 10, justo en la etapa final de la experimentación. Respecto a la dieta basada en hojas, la única dosis que mostró un porcentaje nulo fue la de 200 mg. Por otro lado, el fruto presentó los porcentajes más bajos del experimento con un 1 y 3 % respectivamente en las dosis de 300 y 350 mg, y valores nulos en las demás. Por último, el control exhibió un 6 % (Tabla 1).

ALIMENTO	DOSIS (MG ALIMENTO/LARVA/DÍA)	PORCENTAJE DE MORTALIDAD (%)
Hoja	100	2
	150	6
	200	0
	250	2
	300	12
	350	6
Tallo	100	33
	150	0
	200	0
	250	0
	300	2
	350	0
Fruto	100	0
	150	0
	200	0
	250	0
	300	1
	350	3
Control	200	6

Longitud y anchura de la LMSN

La longitud individual de las larvas fue diferente para todas las dosis en cada tratamiento. La menor medida se mostró en el alimento a base de tallos, con un rango de 10 a 17 mm (se considera que toma los valores más pequeños debido a la mortalidad de uno de los triplicados en la dosis de 100 mg). Le siguen las longitudes de la larva alimentada con hojas, cuyo rango va de 13 a 16 mm, y las alimentadas con el fruto con medidas de 15 a 18 mm. Sin embargo, el control mostró la magnitud más elevada, con 20 mm, valor que no se presentó en ningún otro grupo.

Con respecto a la anchura larval, el valor se mantuvo alrededor de 4 mm, con excepción de las dosis de 100 mg en tallo y hoja, donde se midieron 3 mm aproximadamente. Por otro lado, las larvas más anchas se vieron en el control y la dosis de 350 mg en fruto, con 5 mm aproximadamente (Tabla 2).

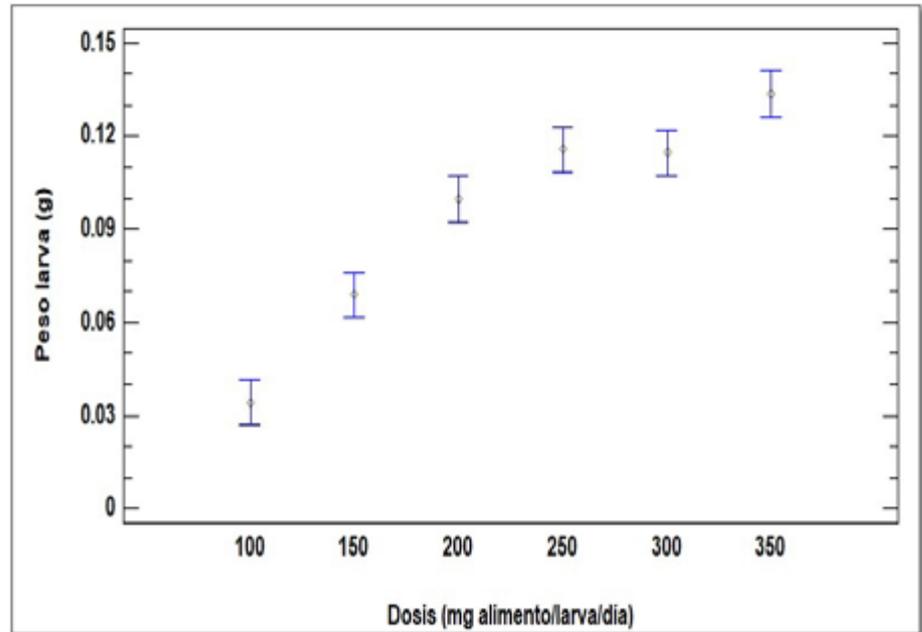
TABLA 2. Largo y ancho de LMSN cultivada con diferentes alimentos y dosis.

ALIMENTO	DOSIS (MG ALIMENTO/LARVA/DÍA)	LONGITUD (MM)	ANCHURA (MM)
Tallo	100	10.82 ± 2.60	3.46 ± 0.27
	150	14.47 ± 1.61	4.04 ± 0.43
	200	15.35 ± 1.50	4.08 ± 0.38
	250	15.54 ± 1.40	4.52 ± 0.33
	300	15.97 ± 1.80	4.77 ± 0.27
	350	17.23 ± 1.10	4.84 ± 0.18
Hoja	100	13.02 ± 2.13	3.64 ± 0.47
	150	15.77 ± 2.11	4.02 ± 0.64
	200	16.37 ± 1.87	4.19 ± 0.42
	250	16.55 ± 1.71	4.19 ± 0.33
	300	16.60 ± 1.76	4.05 ± 0.35
	350	16.86 ± 1.45	4.23 ± 0.34
Fruto	100	15.43 ± 2.21	4.10 ± 0.55
	150	16.33 ± 1.25	4.43 ± 0.35
	200	17.32 ± 1.09	4.72 ± 0.38
	250	18.01 ± 1.91	4.75 ± 0.49
	300	18.76 ± 1.43	4.76 ± 0.41
	350	18.39 ± 1.60	5.02 ± 0.36
Control	200	20.62 ± 1.47	5.58 ± 0.46

Peso acumulado de LMSN en diferentes alimentos

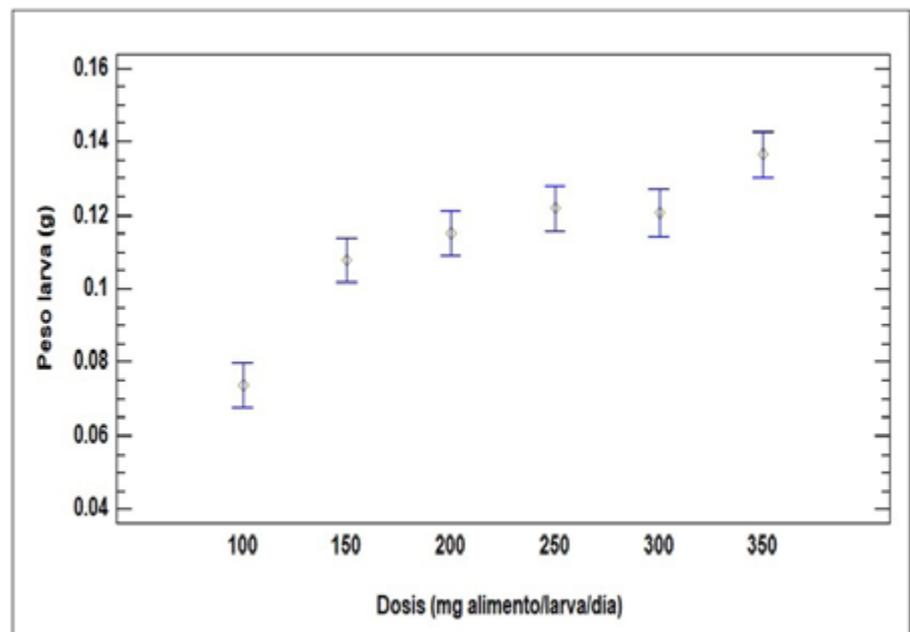
La acumulación del peso fue distinta entre tratamientos a base de residuos de jitomate, aunque en todos predomina una tendencia positiva; no obs-

FIGURA 2. Peso acumulado de *LMSN* después de 10 días de su alimentación con tallos de planta de jitomate. Datos presentados con una prueba estadística de Fisher al 95 % de confianza.



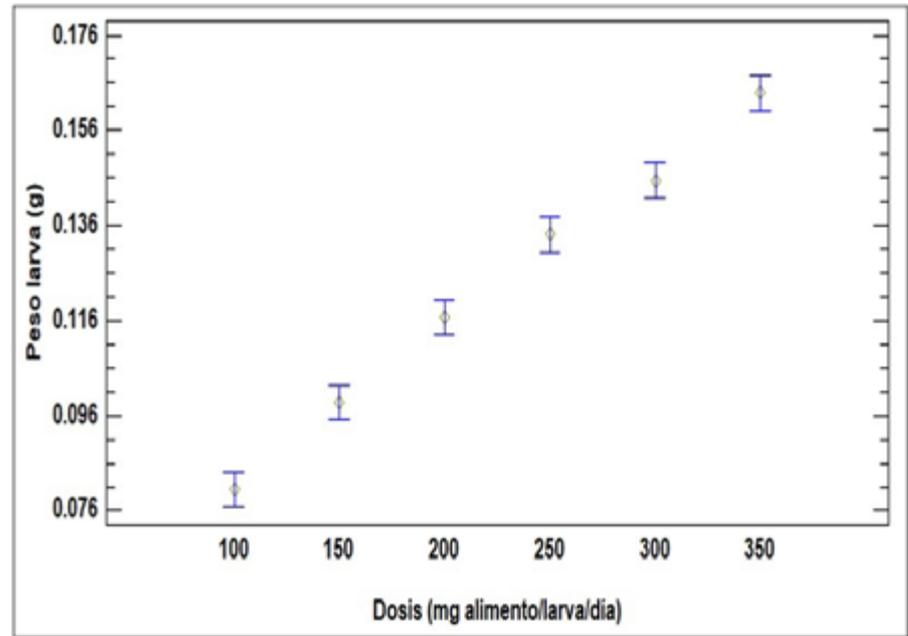
Por otra parte, los pesos acumulados en las dosis de dieta de hojas no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos, excepto las de 100 y 350 mg (Figura 3).

FIGURA 3. Peso acumulado de *LMSN* después de 10 días de su alimentación con hoja de planta de jitomate. Datos presentados con una prueba estadística de Fisher al 95 % de confianza.



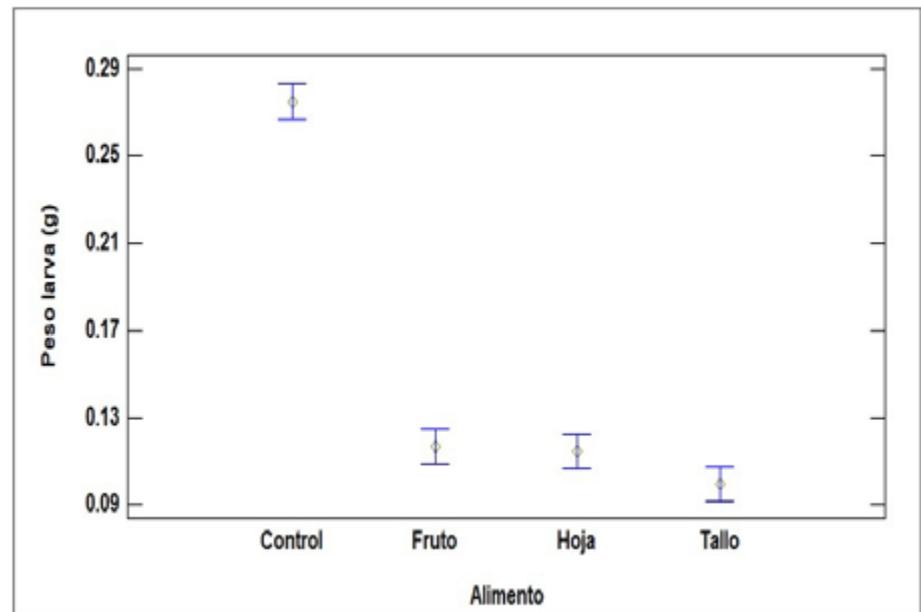
La dieta a base de fruto resultó en los pesos más elevados entre los tres tipos de alimentación derivada de las plantas de jitomate. El peso de la *LMSN*, al igual que en los otros dos tratamientos experimentales, fue acumulativo en función de la dosis (seguramente debido a la composición nutricional del fruto de jitomate, donde destacan los azúcares totales, proteínas y fibra) [24] (Figura 4).

FIGURA 4. Peso acumulado de LMSN alimentada con frutos de jitomate en un periodo de 10 días. Datos presentados con una prueba estadística de Fisher al 95 % de confianza.



La mortalidad se mantuvo por debajo de los índices publicados por otros autores [23]; asimismo, el peso y tamaño (específicamente la longitud) fueron más altos entre los residuos de jitomate, pero similares a otros datos reportados para dietas basadas en residuos vegetales [22] y vegetales íntegros [25].

FIGURA 5. Comparación de pesos de larva en las dosis de 200 mg de alimento.



Conclusiones

El ancho de las larvas se mantuvo constante entre los tipos de residuos y dosis de alimentación; por otro lado, las longitudes y pesos mostraron diferencias entre los tratamientos; el fruto a dosis de 300 y 350 mg ofreció la mejor productividad en este sentido. En otras palabras, estas características demuestran que la planta de jitomate puede constituir un recurso valioso en la crianza de LMSN para la reconversión de desechos orgánicos.



No obstante, las dimensiones y pesos obtenidos son inferiores en comparación con una larva alimentada con una dieta estandarizada (Figura 5). El siguiente paso para esta línea de investigación es encontrar un balance nutricional mediante la implementación de pretratamientos para aprovechar los residuos al máximo y lograr una mayor acumulación de biomasa larval.

Agradecimientos

Al CONAHCYT por el otorgamiento de la beca de posgrado de los autores.

Al laboratorio de Bioingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro por brindar los especímenes sometidos al presente experimento, así como a los invernaderos productores de jitomate del campus Amazcala de esta misma institución por facilitar el recurso empleado para la formulación de las dietas.

Referencias

- [1] S. Siddiqui, B. Ristow, T. Rahayu, N. Susetya, N. Widya, K. Nisa, B. Mategoko, S. Smetana, M. Saki, A. Nawaz, y A. Nagdalian, "Black soldier fly larvae (BSFL) and their affinity for organic waste processing", *Waste Management*, vol. 140, pp. 1-13, 2022, DOI: 10.1016/j.wasman.2021.12.044
- [2] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, "La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050", presentado en Foro de Expertos de Alto Nivel, Roma, Ita., 12-13 Oct., 2009.
- [3] I. Kinasih, Y. Suryani, E. Paujiah, R. Arba, S. Afiyati, Y. Adawiyah, y R. Eka, "Performance of Black Soldier Fly, *Hermetia illucens*, Larvae during valorization of organic wastes with changing quality", *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 593, no. 1, 2020, DOI: 10.1088/1755-1315/593/1/012040
- [4] B. Pastor, Y. Velasquez, P. Gobbi, y S. Rojo, "Conversion of organic wastes into fly larval biomass: bottlenecks and challenges" *Journal of Insects as Food and Feed*, vol. 1, no. 3, pp. 179-193, 2015, DOI: 10.3920/JIFF2014.0024
- [5] C. Yik, L. Siew, L. Po, L. Tey, y L. Joo, "Comparison of *Hermetia illucens* larvae and pre-pupae as potential aqua feed derived from the biotransformation of organic waste", presentado en International Symposium on Green and Sustaina-



- ble Technology, 2019, DOI: 10.1063/1.5126543
- [6] R. Bian, T. Zhang, F. Zhao, J. Chen, C. Liang, W. Li, X. Chai, X. Fang, y L. Yuan, "Greenhouse gas emissions from waste sectors in China during 2006–2019: Implications for carbon mitigation", *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 161, pp. 488-497, 2022, DOI: 10.1016/j.psep.2022.03.050
- [7] S. Dahiya, A. Kumar, J. Shanthi, S. Chatterjee, O. Sarkar, y S. Mohan, "Food waste biorefinery: Sustainable strategy for circular bioeconomy", *Bioresource Technology*, vol. 248, pp. 2-12, 2018, DOI: 10.1016/j.biortech.2017.07.176
- [8] M. Rakkar y H. Blanco, "Grazing of crop residues: Impacts on soils and crop production", *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 258, pp. 71-90, 2018, DOI: 10.1016/j.agee.2017.11.018
- [9] E. Graminha, A. Gonçalves, R. Pirota, M. Balsalobre, R. Da Silva, y E. Gomes, "Enzyme production by solid-state fermentation: Application to animal nutrition", *Animal Feed Science and Technology*, vol. 144, no. 1, pp. 1-22, 2008, DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2007.09.029
- [10] E. Kasapidou, E. Sossidou, y P. Mitlianga, "Fruit and Vegetable Co-Products as Functional Feed Ingredients in Farm Animal Nutrition for Improved Product Quality", *Agriculture*, vol. 5, no. 4, pp. 1020-1034, 2015, DOI: 10.3390/agriculture5041020
- [11] M. Godoy, G. Amorim, M. Barreto, y D. Freire, "Agricultural residues as animal feed: protein enrichment and detoxification using solid-state fermentation", en *Current developments in biotechnology and Bioengineering*, A. Pandey, C. Larroche, y C. Soccol, Eds., Elsevier, 2018, pp. 235-256, 2018, DOI: 10.1016/B978-0-444-63990-5.00012-8.
- [12] W. Mizael, R. Costa, G. Beltrão, F. Ramos, N. Ribeiro, A. Lima, R. Domínguez, y J. Lorenzo, "Effect of the Use of Tomato Pomace on Feeding and Performance of Lactating Goats", *Animals (Basel)*, vol. 10, no. 9, 2020, DOI: 10.3390/ani10091574
- [13] M. Ventura, M. Pieltain, y J. Castanon, "Evaluation of tomato crop by-products as feed for goats", *Animal Feed Science and Technology*, vol. 154, no. 3, pp. 271-275, 2009, DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2009.09.004
- [14] A. Moreno, A. Duque, A. González, I. Ballesteros, y M. Negro, "Valorization of Greenhouse Horticulture Waste from a Biorefinery Perspective", *Foods*, vol. 10, no. 4, 2021, DOI: 10.3390/foods10040814
- [15] A. Manríquez, J. Sierra, P. Muñoz, y X. Gabarrell, "Iden-



- tifying potential applications for residual biomass from urban agriculture through eco-ideation: Tomato stems from rooftop greenhouses", *Journal of Cleaner Production*, vol. 295, 2021, DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.126360
- [16] I. Tabrika, K. Azim, E. Mayad, y M. Zaafrani, "Composting of tomato plant residues: Improvement of composting process and compost quality by integration of sheep manure", *Organic Agriculture*, vol. 10, no. 2, 2020, DOI: 10.1007/s13165-019-00268-0
- [17] Z. Kassab, I. Kassem, H. Hanache, R. Bouhfid, A. Qaiss, y M. Achaby, "Tomato plant residue as new renewable source for cellulose production: extraction of cellulose nanocrystals with different surface functionalities", *Cellulose*, vol. 27, no. 8, 2020, DOI: 10.1007/s10570-020-03097-7
- [18] M. Soriano, A. Zorpas, J. Navarro, y I. Gómez, "Vermicomposting of tomato wastes", en *Tomato Processing By-Products*, M. Jeguirim y A. Zorpas, Eds. Elsevier, 2021, pp. 201-230, DOI: 10.1016/B978-0-12-822866-1.00010-7
- [19] J. Méndez, K. Ramírez, J. Sandoval, J. Ascacio, D. Boone, M. Govea, y C. Aguilar, "Valorization of Tomato Fruit Processing Residues", en *Agricultural Waste: Environmental Impact, Useful Metabolites and Energy Production*, K. Ramawat, J. Mérillon, y J. Arora, Eds. Springer Singapore, 2023, pp. 215-243, DOI: 10.1007/978-981-19-8774-8_10
- [20] C. Lalander, S. Diener, M. Magri, C. Zurbrügg, A. Lindström, y B. Vinnerås, "Faecal sludge management with the larvae of the black soldier fly (*Hermetia illucens*) - from a hygiene aspect", *The Science of the Total Environment*, vol. 458, pp. 312-318, may. 2013, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.04.033
- [21] M. Gold, C. Cassar, C. Zurbrügg, M. Kreuzer, S. Boulos, S. Diener, y A. Mathys, "Biowaste treatment with black soldier fly larvae: Increasing performance through the formulation of biowastes based on protein and carbohydrates", *Waste Management*, vol. 102, pp. 319-329, 2020, DOI: 10.1016/j.wasman.2019.10.036
- [22] P. Borel, F. Hammaz, L. Morand, B. Creton, C. Halimi, D. Sabatier, y C. Demarchelier, "Using black soldier fly larvae reared on fruits and vegetables waste as a sustainable dietary source of provitamin A carotenoids", *Food Chemistry*, vol. 359, 2021, DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.129911
- [23] L. Broeckx, L. Frooninckx, L. Slegers, S. Berrens, I. Noyens, S. Goossens, G. Ver-



heyen, A. Wuyts, y S. Van, "Growth of Black Soldier Fly Larvae Reared on Organic Side-Streams", *Sustainability*, vol. 13, no. 23, 2021, DOI: [10.3390/su132312953](https://doi.org/10.3390/su132312953)

[24] Y. Ali, A. Sina, S. Khandker, L. Nessa, E. Tanvir, A. Kabir. I. Khalil, y S. Hua, "Nutritional Composition and Bioactive Compounds in Tomatoes and Their Impact on Human Health and Disease: A review", *Foods*, vol. 10, no. 1, 2020, DOI: [10.3390/foods10010045](https://doi.org/10.3390/foods10010045)

[25] N. Addeo, S. Vozzo, G. Secci, V. Mastellone, G. Piccolo, P. Lombardi, G. Parisi, K. Asiry, Y. Attia, y F. Bovera, "Different combinations of butchery and vegetable wastes on growth performance, chemical-nutritional characteristics and oxidative status of black soldier fly growing larvae", *Animals*, vol. 11, no. 12, 2021, DOI: [10.3390/ani11123515](https://doi.org/10.3390/ani11123515)

