

INSECTOS COMO ALIMENTO Y PARA EL DESARROLLO DE UNA AGRICULTURA SOSTENIBLE

INSECTS AS FOOD AND FOR THE DEVELOPMENT OF A
SUSTAINABLE AGRICULTURE

Ema Alejandra Ferruzca Campos
Ramón Gerardo Guevara González
Rosario Guzmán Cruz*

Universidad Autónoma de Querétaro, México

**rosario.guzman@uaq.mx*



Resumen

El crecimiento poblacional de los últimos años ha tenido implicaciones importantes para la seguridad alimentaria debido a la demanda cada vez mayor de alimentos. Sobre este contexto es que ha ganado relevancia la exploración de alternativas para la producción de alimentos con alta calidad nutricional y aptos tanto para consumo humano como animal. Por otra parte, la producción de insectos como fuente potencial de alimentos (ricos en proteínas y nutrientes) también abre oportunidades de crecimiento para el sector industrial a través de la elaboración de alimentos para consumo humano y animal, lo que representa una alternativa sostenible que contribuye a la seguridad alimentaria. De igual modo, el sector agrícola se beneficia al utilizar el frass de insectos como un subproducto bioestimulante, fertilizante orgánico o sustituto de plaguicidas, puesto que promueve el crecimiento de las plantas y aumenta su tolerancia al estrés abiótico y biótico. Por consiguiente, el objetivo de la presente revisión es sistematizar la información sobre la producción de insectos como fuente alternativa de proteínas, para consumo humano y animal. Asimismo, se pretende contribuir a la búsqueda de fuentes orgánicas de nutrientes para el suelo a través del uso de residuos de insecto como bioestimulante, elicitor o fertilizante, lo que contribuye al desarrollo de una agricultura sostenible.

Palabras clave: bioestimulante, fertilizante, frass de insecto, proteínas.

The population growth in recent years has significant implications for food security due to the increasing demand for food. Therefore, exploring alternative options for producing high-quality, nutritionally rich food for both human and animal consumption is important. In addition, insect waste or frass can be utilized as a source of fertilizer or bio-stimulant in crops due to its high nitrogen content. Thus, the objective of this review is to systematize information on insect production as an alternative source of protein for human and animal consumption, as well as to contribute to the search for organic sources of nutrients for the soil through the use of insect waste (frass) obtained during their production as a bio-stimulant, elicitor,



Abstract

or fertilizer. This contributes to the development of sustainable agriculture. Due to the advantages of insect production as a potential source of protein and nutrients, significant opportunities for growth are opening up in the industrial sector through the production of food for human and animal consumption. This sustainable alternative contributes to food security. Moreover, the agricultural sector benefits from utilizing insect frass as a byproduct, serving as a biostimulant, organic fertilizer, or pesticide substitute, promoting plant growth and increasing their tolerance to abiotic and biotic stresses.

Keywords: biostimulant, fertilizer, insect frass, proteins.

Introducción

Desde mediados del siglo pasado, el crecimiento poblacional se ha visto reflejado en cifras cada vez más desmesuradas. En 1950 la población mundial se estimaba en 2500 millones de personas, mientras que para noviembre de 2022 el número había aumentado a 8000 millones. Bajo dicha propensión, se espera que en los próximos 30 años la población mundial aumente en 2000 millones de personas, de manera que para 2050 a nivel mundial habría 9700 millones de habitantes, que podrían llegar a un máximo de casi 10400 millones alrededor del 2100 [1]. Tales tendencias conllevan implicaciones para la seguridad alimentaria debido a que, en paralelo al crecimiento poblacional, la demanda de alimentos es cada vez mayor.

Los alimentos de origen animal son una gran fuente de proteína, sin embargo, el sector del que son obtenidos, el ganadero, es uno de los principales generadores de gases de efecto invernadero, representando un 40 % de las emisiones en América Latina. Sumado a lo anterior, su impacto también se observa en el porcentaje de tierras y agua destinado a la producción de alimentos, pues el sector acapara el 80 % de los pastizales y suelos [2]. Por otro lado, en la producción agrícola se aplican fertilizantes y pesticidas sintéticos que pueden generar contaminación química en los ecosistemas marinos y terrestres, además de tener graves consecuencias para la salud [3]. De manera tal, el reto de la agricultura gira en torno a la implementación de insumos inocuos para el ambiente

y los seres vivos, aumentando la tolerancia al estrés en los cultivos y su calidad nutricional [4]. Por estos motivos, es trascendental explorar alternativas para la producción de alimentos.

En la medicina oriental tradicional, se explotan las propiedades farmacológicas de los insectos para el tratamiento de padecimientos como la gastritis, fiebre, tos, asma, artritis, reumatismo y diabetes [5], [6]. Dichos beneficios han motivado a realizar investigaciones científicas centradas en las ventajas de los insectos para la salud humana [7]. Por esta razón, se ha comenzado a examinar opciones innovadoras de materias para la producción de alimentos, entre las que se encuentran insectos como los grillos (*Acheta domesticus*), las larvas de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) y gusanos de la harina (*Tenebrio molitor*). Estos, además de utilizarse para el consumo humano, también constituyen una fuente de alimento para variadas especies de animales, tales como aves, reptiles, mamíferos pequeños y algunos peces [8]. Por ejemplo, en Perú la crianza y consumo masivo del grillo común (*Acheta domesticus*) es una alternativa tanto para alimento de ganado (y otros animales de granja), como para consumo humano. Esta opción destaca por su valor nutricional, costo de producción y leve impacto ambiental [9]. Además, los residuos muestran potencial como bioestimulante o generador de fertilizante en los cultivos, dado su elevado contenido de nitrógeno.

En Europa, desde la década de 2010 (Estados Unidos se ha unido a esta tendencia recientemente) se ha introducido con éxito una serie de productos naturales derivados de componentes celulares de plantas, animales y microorganismos. Dichos bioproductos actúan como bioestimulantes, elicitores o fertilizantes y contienen microorganismos vivos o compuestos derivados de bacterias, hongos, algas e insectos. Entre sus efectos destaca la promoción del crecimiento vegetal y la restauración de la fertilidad del suelo [10].

Por otro lado, una amplia gama de insectos comestibles, en forma cruda y procesada, ha sido parte de la dieta de numerosas culturas desde tiempos antiguos, un ejemplo de ello son las culturas mesoamericanas prehispánicas [11]. Recientemente, ha crecido el interés de investigación en el cultivo, procesamiento y consumo de insectos comestibles. Tales estudios tienden a enfocarse, principalmente, en erradicar las inseguridades alimentarias prevalentes en los países en desarrollo e impulsar la nutrición [12].



Con base en lo anterior, el objetivo de la presente revisión es sistematizar la información acerca de la producción de insectos como fuente proteínica alternativa para consumo humano y animal. De igual forma, se pretende aportar en la búsqueda de fuentes orgánicas de nutrientes para el suelo a través la conversión de *frass* (combinación de restos de insectos) en insumos para el desarrollo de una agricultura sostenible. En este sentido, la revisión bibliográfica se basa en un análisis exhaustivo de la literatura reportada, orientado a los insectos comestibles, cultivo para alimentación humana y animal, residuo de insectos y sus utilidades en la agricultura. La investigación se realizó en las principales bases de datos: Scopus, Web of Science, IEEE, Google Scholar, Scielo, ResearchGate y Wiley. Cabe destacar que se consideraron los estudios de los últimos diez años, con el fin de enfocar y acotar la cantidad de literatura a revisar, así como para identificar las tendencias y direcciones más actuales.

Producción de grillo como potencial alimento

En los últimos años, la cría de insectos como alimento para consumo humano y animal ha aumentado, debido a que son una fuente importante de proteínas y nutrientes [8], [9], [13]. Adicionalmente, los beneficios de producir insectos incluyen menor explotación de las tierras agrícolas, alta eficiencia de conversión alimentaria y elevadas tasas reproductivas. Sumado a lo anterior, los insectos demandan bajo consumo de recursos para su crianza y producción [14], puesto que pueden alimentarse con desechos vegetales obtenidos del sector agrícola o de la dieta humana, como tallos, hojas, frutas o verduras [16]. En consecuencia, comparada con la producción de carne, se considera una alternativa sostenible, además de un comestible totalmente orgánico, nutritivo y proveedor complementario de proteínas [15].

En otras instancias, según un informe de abril de 2019 [17], se estima que a nivel mundial existen más de 250 empresas que cultivan insectos, o derivados de ellos, para fines dietarios. De ellas, alrededor de 133, principalmente de Europa, Asia del Sur y América del Norte, se enfocan al consumo humano [8]. Entre los principales países productores se encuentran Bélgica, Brasil, Canadá, Dinamarca, España y Estados Unidos; estos dos últimos son los primeros en la fabricación de mosca

doméstica y mosca soldado. También destacan Finlandia, Francia (líder en gusano amarillo de las harinas), Holanda, Reino Unido, Vietnam y Tailandia (primer productor global de grillos con fines comestibles en el planeta). Por su parte, en México se industrializa la comida entomófaga en Oaxaca, Hidalgo, Puebla, Estado de México, Ciudad de México y Querétaro, entre otras entidades [15].

Características nutricionales

Los insectos se constituyen principalmente de proteínas, lípidos y ácidos grasos, carbohidratos, vitaminas, fibra, nitrógeno no proteico y cenizas [18], [19]; sin embargo, su composición se ve influida por el tipo de ejemplar, la etapa o estadio de crecimiento en el que se encuentre y la alimentación que lleve. En este sentido, las proteínas son el elemento principal de la composición nutricional de los insectos. Asimismo, dichos metabolitos poseen diversas propiedades tecnológicas, entre las que se encuentran solubilidad, capacidad de formar emulsiones, absorber agua y formar geles [18].

Por otro lado, como se puede ver en la Tabla 1, los insectos cuentan con aminoácidos esenciales [8]. De esta manera, el perfil de aminoácidos de los insectos comestibles cumple con los requisitos nutricionales para adultos publicados por la OMS, en términos de metionina, metionina+cisteína, fenilalanina y tirosina [8]. Por otra parte, al comparar la cantidad de proteína cruda presente en la harina de carne y la de soya contra la harina de larvas de mosca doméstica, se muestra que esta última contiene una mayor proporción [20].

En contrapartida, el exoesqueleto de los insectos (así como de los crustáceos) se compone principalmente de quitina, un polisacárido considerado como fibra, ya que es indigerible para los humanos y animales no rumiantes. De igual forma, contiene altas cargas de minerales como calcio y fósforo [21], por lo que algunos ejemplares presentan más hierro que la carne bovina [17]. Por consiguiente, el consumo de insectos constituye una fuente de proteínas, aminoácidos, ácidos grasos y minerales propicia para contribuir con el requerimiento nutricional de las personas en cualquier etapa de desarrollo [22].



TABLA 1.

Insectos comestibles más consumidos.

ORDEN [8]	INSECTO [8]	CONSUMO HUMANO (%) [17]	COMPOSICIÓN NUTRICIONAL		
			PROTEÍNAS (%) [19]	AMINOÁCIDOS [19]	EXTRACTO ETÉREO (%) [19]
Coleóptera	Escarabajos	31	20-71	Ácidos glutámico, aspártico, fenilalanina y alanina	
Lepidóptera	Orugas	18	13-64	Ácidos glutámico, aspártico, fenilalanina y alanina	6-77
Himenóptera	Abejas, avispas y hormigas	14	10-62	Ácido glutámico, leucina y alanina	
Ortóptera	Saltamontes, langosta y grillos	13	27-76		4-22
Hemíptera	Cigarras, fulgoromorfos, saltahojas, cochinillas y chinches	10		Prolina, leucina, tirosina, alanina, valina y metionina	6-46
Isóptera	Termitas	3			21-46
Efemeróptera	Libélulas	3	36-68		
Díptera	Moscas	2	36-70	Ácidos glutámico, aspártico, fenilalanina y alanina	
	Otros	5			

Alimentación humana

En el mundo, se destinan más de 2000 especies de insectos para consumo humano [23], principalmente en países tropicales. Entre ellas, los órdenes coleóptera con 634 especies, lepidóptera con 359, himenóptera con 302, ortóptera con 279, hemíptera con 220, isóptera con 63, odonata con 60 y díptera con 25 [24]. Como ventaja extra, pueden consumirse en las etapas de huevo, larva, pupa y adultez [25]. No obstante, en los países occidentales, hay un rechazo generalizado hacia la idea de consumir insectos, ya sea debido a motivos culturales o por considerarlos desagradables o

nocivos [17]. Aunado a esto, en los países occidentales escasea la regulación legislativa, lo que representa uno de los obstáculos más desafiantes para incluir a los insectos como fuentes de proteínas [25].

Los insectos pueden consumirse enteros, triturados o como harina. Esta última forma de preparación es la más utilizada para adiccionarla a alimentos de consumo humano, como pan, pastas, salsas, golosinas para niños, paté, barras energéticas, bebidas con y sin alcohol, galletas, tortillas de maíz, carne para hamburguesas y salchichas [8].

Algunas de las harinas más estudiadas y adoptadas como reemplazo proteico en alimentos para humanos provienen de los grillos domésticos (*Acheta domestica*), seguidos de las larvas de moscas soldado negro (*Hermetia illucens*) y los gusanos de la harina (*Tenebrio molitor*) [8].

Alimentación animal

La producción de insectos para la formulación de harinas alternativas a las de soya, maíz y pescado y piensos para animales es una opción a las fuentes convencionales de nutrientes necesarios en la alimentación del ganado y las mascotas [26],[27]. Al igual que ocurre en la dieta humana, las especies recurrentes para alimentación animal son las larvas de mosca soldado negra, las del gusano de la harina y el grillo doméstico [17], [18]. Por otra parte, diversos estudios han mostrado que es posible reemplazar parcialmente la harina de pescado por harina de insectos sin comprometer el rendimiento y la calidad del producto [28], [29]. En este contexto, desde el año 2017 los reglamentos de la Unión Europea permiten la harina de larva de mosca soldado negra en la alimentación de especies acuáticas. En el caso de las aves, las inclusiones de harina de insecto son variables del 1 al 28 %, sin alteraciones observables en el rendimiento de los animales ni en las características organolépticas de la carne [8]. Por su parte, con las gallinas ponedoras no se han reportado efectos negativos sobre la producción de huevos o la calidad de los cascarones [30]. En la Tabla 2 se muestran las ventajas y desventajas de la inclusión de insectos para la alimentación humana y animal.



TABLA 2.

Principales ventajas y desventajas del consumo de insectos [8].

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Son ricos en proteínas, grasas buenas, calcio, hierro y zinc.	La legislación para productos elaborados a partir de insectos es escasa.
Producen menos gases de efecto invernadero que el ganado.	Gran parte de la población rechaza su consumo.
Los grillos necesitan 12 veces menos alimento que el ganado, 4 veces menos que las ovejas, y la mitad de alimento que los cerdos y los pollos de engorda para producir la misma cantidad de proteínas.	Las personas alérgicas a los crustáceos pueden presentar alergias a los insectos.
Pueden alimentarse de residuos biológicos y agropecuarios para transformarlos en nutrientes de alta calidad.	
Requieren menos agua y tierra que el ganado tradicional.	

Frass de insecto para una agricultura sostenible

Los agricultores han tratado de maximizar sus cosechas a través de productos naturales que ayuden a mejorarlas. Para este fin, tradicionalmente se han ocupado bioestimulantes, tales como el estiércol, residuos líquidos o extractos de algas aplicables para aumentar el crecimiento de las plantas, sus frutos y rendimientos. No obstante, la mayoría son productos químicos que perjudican la estructura del suelo y disminuyen su fertilidad. Ante esta problemática surge la necesidad de contar con nuevas alternativas para producir alimentos de manera sostenible y así contrarrestar los efectos del uso excesivo de agroquímicos. Este reto también abre la puerta a la generación de tecnologías que prescindan del uso de combustibles fósiles y sean menos tóxicas para los ecosistemas.

Como se dijo anteriormente, la tendencia a aprovechar los insectos como alimento ha provocado la proliferación de empresas privadas dedicadas a la elaboración de productos derivados de insectos [17]. Sobre esta línea, un aspecto fundamental del proceso de crianza y producción en masa es la cantidad de residuos resultantes (exoesqueletos mudados y

excrementos), también conocidos como *frass* de insecto. Dicho remanente representa un subproducto importante dentro del sistema. Un estudio de la producción diaria de *frass* en la industria determinó que el gusano amarillo de la harina (*Tenebrio molitor*) puede consumir 220 g de alimento en forma de maíz y zanahorias. De tal proceso resulta una producción de 4 g de biomasa de insectos y 180 de excrementos y residuos [31]. Ante este panorama de la industria, se abre la posibilidad de encontrar alternativas para el uso del *frass* de insecto como abono o fertilizante orgánico [32], [33].

La quitina que se obtiene de la piel mudada durante la producción de insectos es un polímero biodegradable con potencial como bioestimulante en la agricultura [34]. Esta sustancia aporta diversos beneficios, dependiendo de su aplicación; por ejemplo, puede disminuir el empleo de fungicidas químicos cuando se aplica como un sustrato foliar debido a que favorece a las poblaciones bacterianas nativas [35]. Por otra parte, al aplicarlo en el suelo el sustrato actúa como nutriente vegetal, promueve el crecimiento en plantas y aumenta la tolerancia al estrés biótico y abiótico [36].

Una de las posibles disposiciones del *frass* es como abono granulado [11], [37], debido a que incrementa la población y la actividad microbiana en el suelo, mejora la disposición de nutrientes y sus propiedades [10]. A su vez, también puede ser empleado como recubrimiento de semillas, impregnado en una taza de plántula biodegradable o aplicado junto a las raíces de cada planta durante el momento de la siembra.

Por consecuencia, es fundamental para la agronomía y economía estudiar los microorganismos presentes en el excremento de insectos. Estos agentes se consideran bioprotectores, biocontroladores, biofertilizantes o bioestimulantes, debido a que regulan el crecimiento, aceleran la germinación de las semillas, fortalecen el vigor de las plantas y optimizan el rendimiento agrícola [38]. La aplicación de fertilizantes orgánicos en lugar de sintéticos es económicamente factible y un enfoque necesario a largo plazo para la agricultura sostenible.

El *frass* es benéfico para la fisiología vegetal y además refuerza el sistema inmunológico; así, es notable la mejora en el crecimiento y desarrollo, sin las sobrecargas de agroquímicos tóxicos habituales, tales como los insecticidas, fungicidas y bactericidas. En síntesis, los residuos de



insectos son potenciales sustitutos de los actuales plaguicidas químicos o como reguladores del crecimiento de las plantas. De lo anterior resultaría una producción con niveles mínimos (o incluso nulos) de toxicidad hacia el medio ambiente y los seres vivos [4].

Discusión

Aunque los tabúes alimentarios limitan el consumo de insectos [16], su inclusión en suplementos deportivos, infantiles y vegetarianos [39-41] se ha elevado, debido a sus niveles proteínicos y equilibrio de aminoácidos reportados en nuevos estudios. En las proteínas de los insectos, se han reportado diversos péptidos bioactivos cuyas propiedades combaten la oxidación, los tumores y los hongos, por mencionar algunos ejemplos [42]. [7], [43-46] informan que los insectos comestibles contienen compuestos bioactivos, como fenoles y flavonoides, que inhiben los elementos oxidantes, glucémicos, inflamatorios, cancerígenos, microbianos y bacterianos de la enzima lipasa pancreática y además regulan la insulina [47-49]. Aunque tales atributos a menudo se deben a la sinergia de diferentes componentes, varios estudios constatan el papel clave del contenido de polifenoles en relación con bioactividades específicas [43]. Por añadidura, las propiedades bioactivas de los péptidos derivados de insectos observados en humanos y organismos modelo también pueden mediar efectos ventajosos para la salud en el ganado que han suscitado un interés creciente [50-52].

Por otro lado, al transformar a los insectos en ingredientes alimentarios es imprescindible garantizar su inocuidad. Entre las tecnologías utilizadas para estos fines se encuentran el secado en estufa/horno y la liofilización. El primero reduce el contenido de humedad al disminuir las reacciones degradativas enzimáticas y microbiológicas; sin embargo, tiene desventajas como alteraciones funcionales de las proteínas, oxidación de lípidos y variaciones en el color. El segundo, la liofilización, reduce la acción microbiana y la degradación oxidativa; no obstante, aunque es recurrente en investigación, resulta costosa a nivel industrial [8].

Hasta el momento, se desconocen casos graves de transmisión de enfermedades o parásitos a humanos derivados del consumo de insectos. En comparación con los mamíferos y las aves, los insectos parecen

plantear un riesgo menor de transmisión de infecciones zoonóticas a los humanos, aunque es un tema que debe investigarse más a fondo [17]. De igual forma, el consumo de insectos puede producir alergias comparables a las ocasionadas por los crustáceos, que también son invertebrados [9]; y en otros estudios se han reportado alergias alimentarias con una prevalencia de hasta un 12.9 % [53]. Sin embargo, este porcentaje es equiparable al de otros productos alimentarios potencialmente alérgenos, como el maní, huevo y ajonjolí (los cuales han llegado a valores de casi el 10 %) [40].

Existen varios ejemplos de aplicación de los insectos como alimento para animales. Uno de ellos proviene de investigadores de Brasil y Camerún, quienes sustituyeron exitosamente parte de las raciones a base de soya por insectos en la alimentación de pollos, bovinos, porcinos, caprinos y ovinos. Posteriormente encontraron que el perfil de aminoácidos de la harina de insectos es similar al de la harina de pescado [39]. Otro ejemplo proviene de China, Sudáfrica, España y Estados Unidos, donde algunos productores se encuentran trabajando en la crianza de enjambres de moscas para la acuicultura y piensos de aves de corral a través de la bioconversión de residuos orgánicos [54].

Con respecto a las harinas de insecto, las larvas de la mosca soldado negra se aprovechan como proteína baja en grasa en la dieta de bovinos, cerdos, pollos, gallinas, peces (trucha, tilapia, bagre y salmón) y crustáceos (langostino de agua dulce) [55]. En otros estudios, las larvas de mosca doméstica son suministradas, frescas, enteras o picadas, secadas al sol o en horno y molidas como harina, a aves de corral y peces [56]. Por su parte, las larvas del gusano de la harina se producen para mascotas como peces tropicales, aves, reptiles, batracios y pequeños mamíferos insectívoros, así como para la acuicultura (bagre africano, dorada, trucha arcoíris, lubina europea) y la avicultura [18, 55, 57]. A su vez, la harina del gusano de seda, debido a su alto contenido proteico, es apta para la alimentación de aves de corral (pollos de engorde, gallinas ponedoras), cerdos, conejos, peces (carpa común, púa plateada, tilapia de Mozambique, salmón chum, bagre asiático y bagre caminando, lubina japonesa), crustáceos y animales rumiantes (terneros, corderos) [58].

Con el inicio del cambio climático, la resistencia a los pesticidas y la continua pérdida de tierra ocasionada por el crecimiento excesivo de la población, la necesidad de nuevas prácticas agrícolas innovadoras



ha cobrado una relevancia sin precedentes. Durante décadas se han realizado esfuerzos en pos de insumos agrícolas orgánicos viables que no solo sean beneficiosos para los humanos, sino que también sean inocuos para el medio ambiente, ya que la sostenibilidad de la producción hortícola es fundamental para satisfacer las demandas de los consumidores a largo plazo. Para conseguir lo anterior, es necesario optimizar el aprovechamiento de los recursos para fabricar y proporcionar productos saludables. En este sentido, el frass de insecto ha resultado una buena alternativa.

En un estudio realizado en invernadero [59] se encontró que el excremento de diferentes insectos herbívoros era capaz de activar las respuestas defensivas de la planta en tratamiento. Para obtener dicha reacción, mediada por los ácidos salicílico y jasmónico, se provocaron diferentes interacciones: el gusano cogollero (*Trichoplusia ni*) en col, el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en arroz, el barrenador europeo del maíz (*Ostrinia nubilalis*) en ese grano, y el gusano del tomate (*Helicoverpa zea*) en ese fruto. Esta información sirve de apoyo para continuar investigando el potencial bioestimulante del excremento de insecto y sus beneficios en la agricultura protegida.

En otras instancias, se ha encontrado que los microorganismos presentes en los excrementos de insectos pueden activar las respuestas defensivas de la planta de maíz. Se llegó a tal conclusión *a posteriori* de aislar e identificar en excrementos de insectos la bacteria *Pantoea ananatis*. Dicho hallazgo demuestra la capacidad de la planta para incrementar la expresión del gen codificador para el inhibidor de la proteinasa de maíz inducido por herbívoros (mpi), lo que disminuye los ataques del insecto. Sin embargo, en plantas de tomate no se lograron los mismos resultados [60].

En cuanto al frass de grillo aplicado en la producción de tomate bajo invernadero, un estudio evaluó el efecto bioestimulante y elicitor sobre las características morfológicas de la planta de tomate, como la altura, el diámetro basal y el número de hojas. Los resultados revelaron que el recurso en cantidades específicas elicitó la resistencia de la planta de jitomate al estrés. Asimismo, se descubrió que el residuo al 0.01 % tiene un efecto bioestimulante, debido a un incremento en las variables morfológicas de la planta en comparación con el testigo [61]. De forma similar, [11] en otra investigación se demostró un aumento de la tolerancia al

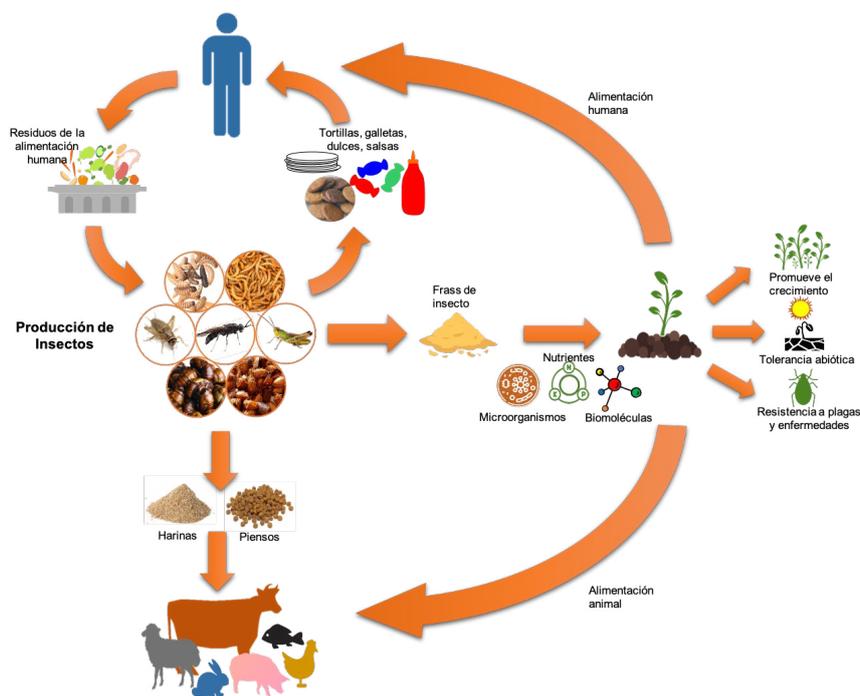
estrés biótico y abiótico de las plántulas frente a la sequía, las inundaciones y la salinidad, debido a la esterilización de los excrementos. A partir de lo anterior, se identificaron numerosos aislados bacterianos y fúngicos capaces de fijar nitrógeno atmosférico, solubilizar fosfatos y potasio, y producir sideróforos, auxinas y ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) desaminasa.

Por otra parte, se realizó un ensayo del uso de excremento de grillo como enmienda de nitrógeno (N) en maíz dulce con dos dosis de aplicación (125 lbs y 150 lbs de N por acre) en comparación con un control. Aquí se evaluó el rendimiento del cultivo y los niveles de nitrato (NO_3^-); a partir del aumento reportado se demuestra que la aplicación de los excrementos puede ser una enmienda efectiva de N [33].

FIGURA 1

Uso de insectos para alimentación de humanos y animales, y de frass para agricultura sostenible.

En síntesis, los insectos como alimento para consumo humano y animal representan una alternativa totalmente orgánica a la carne, además de ser una fuente confiable de proteínas y otros nutrientes; a su vez, se propone como una estrategia sostenible para producir alimentos seguros, saludables y económicos. De igual forma, este tipo de producción requiere de menor explotación de las tierras, restaura la fertilidad del suelo y mitiga el cambio climático; así contribuye al desarrollo de una agricultura sostenible.





Conclusiones

Debido al aumento de la población mundial ahora son imprescindibles alternativas sostenibles para la producción de alimentos. Los insectos son una opción rentable, en virtud de su contenido de proteínas y nutrientes, así como de su potencial como bioestimulantes o fertilizantes naturales en la agricultura. Sin embargo, existen barreras culturales y regulatorias que limitan su adopción en algunos países occidentales.

En este contexto, la producción de insectos abre grandes oportunidades de crecimiento al sector industrial, a través de la elaboración o adición de alimentos para consumo humano y animal que contribuyen a la seguridad alimentaria. Asimismo, el sector agrícola se beneficia del *frass* de insectos como un subproducto bioestimulante, fertilizante orgánico o sustituto de plaguicidas.

Pocas personas aceptan la idea de consumir insectos, sobre todo ingerirlos directamente, debido a los prejuicios sobre su limpieza y apariencia. Puesto que los aspectos negativos del uso de insectos como alimento tienden a eclipsar los beneficios y el alto valor nutricional que contienen, es necesario implementar estrategias de difusión para vencer las barreras culturales y así aumentar su consumo. La industrialización de alimentos pretende cambiar la percepción que las personas tienen y ayudar a superar los prejuicios para integrar con mayor libertad los insectos en sus procesos.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro por su apoyo durante la investigación.

Fuentes de financiamiento

Este proyecto fue solventado mediante el convenio FIN202105 de la Convocatoria para la Atención a Problemas Nacionales 2021.

Referencias

- [1] Organización de las Naciones Unidas. "Global Issues. Population". un.org/en/global-issues/population.
- [2] FAO. "Ganadería sostenible y cambio climático en América Latina". [fao.org](http://www.fao.org/americas/prioridades/ganaderia-sostenible/es/). <http://www.fao.org/americas/prioridades/ganaderia-sostenible/es/>
- [3] E. Lindgren, F. Harris, A. D. Dangour, A. Gasparatos, M. Hiramatsu, F. Javadi, B. Locken, T. Murakami, P. Scheelbeek y A. Haines, "Sustainable food systems. A health perspective", *Sustain Sci*, no. 13, pp. 1505-1517, 2018.
- [4] M. C. Vázquez, I. P. Contreras, L. M. Montoya, I. T. Pacheco, D. Schwarz, R. G. González, "Eustressors: Chemical and physical stress factors used to enhance vegetables production", *Scientia Horticulturae*, vol. 250, pp. 223-229, 2019.
- [5] J. H. Lee, T. K. Kim, C.H. Jeong, H. I. Yong, J. Y. Cha, B. K. Kim, Y. S. Choi. "Biological activity and processing technologies of edible insects: A review", *Food Science and Biotechnology*, vol. 30, no. 8, pp. 1003-1023, 2021.
- [6] A. E. Ortiz, D. H. Saavedra, J. L. Mendoza, I. F. Ramírez, O. M. Izaguirre, M. R. Gómez, R. R. Camacho, "Consumption of cricket (*Acheta domestica*) flour decreases insulin resistance and fat accumulation in rats fed with high fat and fructose diet", *Journal of Food Biochemistry*, vol. 46, no. 9, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1111/jfbc.14269>
- [7] D. Aiello, M. Barbera, D. Bongiorno, M. Cammarata, V. Censi, S. Indelicato, F. Mazzotti, A. Napoli, D. Piazzese, F. Saiano, "Edible Insects an Alternative Nutritional Source of Bioactive Compounds: A Review", *Molecules*, vol. 28, no. 2, pp. 699, 2023.
- [8] C. Avendaño, M. Sánchez, C. Valenzuela, "Insectos: son realmente una alternativa para la alimentación de animales y humanos", *Revista chilena de nutrición*, vol. 47, no. 6, pp. 1029-1037, 2020.
- [9] L. A. Arévalo, J. Lannacone. "Crianza del grillo (*acheta domestica*) como fuente alternativa de proteínas para el consumo humano", *Scientia*, vol. 17, no. 17, pp. 161-173, 2015.
- [10] S. M. Hamed, A. A. Abd El-Rhman, N. A. Raouf, I. B. Ibraheem, "Role of marine



macroalgae in plant protection & improvement for sustainable agriculture technology", *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, vol. 7, no.1, pp. 104-110, 2018

- [11] J. Poveda, A. J. Gómez, Z. S. Santamaría, R. U. Martín, R. Rivas, P. G. Fraile, "Mealworm frass as a potential biofertilizer and abiotic stress tolerance-inductor in plants", *Appl Soil Ecol*, no. 142, pp. 110-122, 2019.
- [12] A. M. Liceaga, "Edible insects, a valuable protein source from ancient to modern times", *Advances in Food and Nutrition Research*, vol. 101, pp.129-152, 2022.
- [13] S. Imathiu, "Benefits and food safety concerns associated with consumption of edible insects", *NFS journal*, vol. 18, pp. 1-11, 2020.
- [14] Organización de las Naciones Unidas. "World: total population", un.org/wpp/graphs/probabilistic/pop/tot/900
- [15] UNAM. "Cultivo y consumo de insectos, opción ante la creciente demanda de alimentos", *Boletín UNAM-DGCS*, 236, 2020. dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2020_236.html
- [16] J. Chakravorty, S. Ghosh, C. Jung, V.B. Rochow, "Nutritional composition of *Chondacris rosea* and *Brachytrupes orientalis*: Two common insects used as food by tribes of Arunachal Pradesh, India", *Journal of Asia-Pacific Entomology*, vol. 17, pp. 407- 415, 2014.
- [17] A. Van Huis, "Insects as food and feed, a new emerging agricultural sector: a review", *Journal Insects as Food and Feed*, vol. 6, pp. 27- 44, 2019
- [18] H. Makkar, G. Tran, V. Heuzé, P. Ankers. "State-of-the-art on use of insects as animal feed", *Anim Feed Sci Technol*, vol. 197, pp. 1-33. 2014.
- [19] M. Sánchez, F. Barroso, F. Manzano-Agugliaro. "Insect meal as renewable source of food for animal feeding: A review", *Journal of Clean Production*, 65, pp. 16-27, 2014.
- [20] A. Batal, N. Dale. "Feedstuffs Ingredient Analysis Table: 2016 edition", 2016. [Online]. Available: [en línea] https://feedstuffs.farmcentric.com/mdfm/Feeess50/author/427/2015/11/Feedstuffs_RIBG_Ingredient_Analysis_Table_2016.pdf . [consulta: 03-09- 2022].
- [21] S. Belluco, C. Losasso, M. Maggioletti, C. Alonzi, M. Paoletti, A. Ricci, "Edible

insects in a food safety and nutritional perspective: a critical review", en *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, vol.12, pp. 296-313, 2013.

- [22] R. Durán-Galdo, L. Saavedra-García, "Entomofagia, ¿Una potencial alternativa para la seguridad alimentaria?: Una revisión narrativa", *Rev. Española Nutr. Comunitaria*, **28**, 14. 2022.
- [23] Y. Jongema, "List of edible insect species of the world", *Laboratory of Entomology*, Wageningen U. R. wur.nl/en/research-results/chair-groups/plant-sciences/laboratory-of-entomology/edible-insects/world-wide-species-list.ht
- [24] S. Chomchai, P. Laoraksa, P. Virojvatanakul, P. Boonratana, C. Chomchai, "Prevalence and cluster effect of self-reported allergic reactions among insect consumers", *Asian Pacific J Allergy Immunol*, **38**(1):406. 2020.
- [25] A. Van Huis, J. Van Itterbeeck, H. Klunder, E. Mertens, A. Halloran, G. Muir, P. Vantomme, "Edible insects: future prospects for food and feed security", *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, Roma, IT, 2013.
- [26] A.M. Rodríguez, "Propuesta de alternativas de producción de proteína para alimentación animal a partir de insectos en Colombia", México, CDMX: Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2020. repository.unad.edu.co/handle/10596/36259
- [27] D. Lenz, J. S. Pappalardo, A. A. Pazos, F. E. Mutti, G. S. Gallardo, A. G. Aparicio, V. C. Fernandez. "Piensos a base de insectos para alimentación animal", *Plataforma Agraria Libre de Canarias*, vol. 59, pp. 1-1, 2022.
- [28] R. Toriz, V. Ruiz, U. García, L. Hernández, M. Fonseca, G. Rodríguez, "Assessment of Dietary Supplementation Levels of Black Soldier Fly, *Hemertia illucens*, Pre-pupae Meal for Juvenile Nile Tilapia, *Oreochromis Niloticus*", *Southwestern Entomol*, vol. 44, pp. 251-259, 2019.
- [29] T. Stadlander, A. Stamer, A. Buser, J. Wohlfahrt, F. Leiber, C. Sandrock. "Hermetia illucens meal as fish meal replacement for rainbow trout on farm", *Journal of Insects as Food and Feed*, vol. 3, pp. 165-175, 2017.
- [30] T. Veldkamp, G. Bosch. "Insects: a protein-rich feed ingredient in pig and poultry



diets", *Animal Frontiers*, vol. 5, pp. 45-50, 2015.

- [31] H. Wang, K. Rehman, X. Liu, Q. Yang, L. Zheng, W. Li. "Insect biorefinery: a green approach for conversion of crop residues into biodiesel and protein", *Biotechnology for Biofuels*, vol. 10, pp. 304, 2017.
- [32] J. C. Ortiz, A. T. Ruiz, J. A. Morales, M. Thomas, M. G. Rojas, J. K. Tomberlin. "Insect mass production technologies", *Insects as Sustainable Food Ingredients*, Academic Press, 2016, vol. 6, pp. 153-201.
- [33] H. Darby, A. Gupta, E. Cummings, L. Ruhl, S. Ziegler. "Cricket Frass as a Potential Nitrogen Fertility Source", *Northwest Crops & Soils Program*, pp. 86, 2017.
- [34] F. Amerany, M. Rhazi, S. Wahbi, M. Taourirte, A. Meddich. "The effect of chitosan, arbuscular mycorrhizal fungi, and compost applied individually or in combination on growth, nutrient uptake, and stem anatomy of tomato", *Scientia Horticulturae*, vol. 261, 2020.
- [35] C. L. Velásquez, M. L. Pirela, A. Chirinos, L. I. Avelizapa, "Nuevos retos en agricultura para los biopolímeros de quitina y quitosano. 1. Efectos beneficiosos para los cultivos", *Revista Iberoamericana de Polímeros*, vol. 20, no. 3, pp. 118-136, 2019.
- [36] R. Pichyangkura, S. Chadchanwan. "Biostimulant activity of chitosan in horticulture", *Scientia Horticulturae*, vol. 196, pp. 49-65, 2015.
- [37] A. M. Dulaurent, G. Daoulas, M. P. Faucon, D. Houben. "Earthworms (*Lumbricus terrestris* L.) mediate the fertilizing effect of frass", *Agronomy*, vol. 10, no. 6, pp. 783, 2020.
- [38] L. P. de Souza, L. M. Garcia, C. Rodrigues, M. C. Camara, G. V. de Melo, J. de Oliveira, C. R. Soccol. "Potential applications of plant probiotic microorganisms in agriculture and forestry", *AIMS Microbiol*, vol. 3, pp. 629-648, 2017.
- [39] L. Melgar, A. Hernandez, C. Salinas. "Edible insects processing: traditional and innovative technologies", *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, vol. 18, pp. 1166-1191, 2019.
- [40] S. Kim, C. Weaver, M. Choi. "Proximate composition and mineral content of five edible insects consumed in Korea", *CyTA Journal of Food*, vol. 15, pp. 143-146, 2017.
- [41] Y. Park, Y. Choi, K. Hwang, T. Kim, C. Lee, D. Shin. "Phys-

- icochemical Properties of Meat Batter Added with Edible Silkworm Pupae (*Bombyx mori*) and Transglutaminase", *Korean Journal for Food Science Animal Resources*, vol. 37, pp. 351-359, 2017.
- [42] M. Liu, Y. Wang, Y. Liu, R. Ruan. "Bioactive peptides derived from traditional Chinese medicine and traditional Chinese food: a review", *Food Research International*, vol. 89, pp. 63-73, 2016.
- [43] A. J. da Silva, L. M. de Oliveira, M. da Rocha, C. Prentice. "Edible insects: An alternative of nutritional, functional and bioactive compounds", *Food chemistry*, vol. 311, 2020.
- [44] G. Ssepuuya, J. Kagulire, J. Katongole, D. Kabbo, J. Claes, D. Nakimbugwe. "Suitable extraction conditions for determination of total anti-oxidant capacity and phenolic compounds in *Ruspolia differens* Serville", *Journal of Insects as Food and Feed*, vol. 7, no. 2, pp. 205-214, 2021.
- [45] M. C. Nino, L. Reddivari, C. Osorio, I. Kaplan, A. M. Liceaga. "Insects as a source of phenolic compounds and potential health benefits", *Journal of Insects as Food and Feed*, vol. 7, no. 7, pp. 1077-1087, 2021.
- [46] M.C. Nino, L. Reddivari, M. G. Ferruzzi, A. M. Liceaga. "Targeted Phenolic Characterization and Antioxidant Bioactivity of Extracts from Edible *Acheta domesticus*", *Foods*, vol. 10, no. 10, 2021.
- [47] M. Issaoui, A. M. Delgado, G. Caruso, M. Micali, M. Barbera, H. Atrous, A. Ouslati, N. Chammem. "Phenols, flavors, and the mediterranean diet", *Journal of AOAC International*, vol. 103, no. 4, pp. 915-924, 2020.
- [48] M. Nardini. "Phenolic Compounds in Food: Characterization and Health Benefits", *Molecules*, vol. 27, no. 3, pp. 783, 2022.
- [49] Z. Zhang, S. Chen, X. Wei, J. Xiao, D. Huang. "Characterization, Antioxidant Activities, and Pancreatic Lipase Inhibitory Effect of Extract From the Edible Insect *Polyrhachis vicina*", *Frontiers in Nutrition*, vol. 9, 2022.
- [50] A. Jozefiak, R. M. Engberg. "Insect proteins as a potential source of antimicrobial peptides in livestock production. A review", *Journal of Animal and Feed Sciences*, vol. 26, no. 2, pp. 87-99, 2017.



- [51] T. Veldkamp, L. Dong, A. Paul, C.C. Govers. "Bioactive properties of insect products for monogastric animals—a review", *Journal of Insects as Food and Feed*, vol. 8, no. 9, pp. 1027-1040, 2022.
- [52] Y. Quah, S. R. Tong, J. Bojarska, K. Giller, S. A. Tan, Z. M. Ziora, T. Esatbeyoglu T. T. Chai. "Bioactive peptide discovery from edible insects for potential applications in human health and agriculture", *Molecules*, vol. 28, no. 3, 2023.
- [53] I. Pali-Schöll, R. Binder, Y. Moens, F. Polesny, S. Monsó. "Edible insects-defining knowledge gaps in biological and ethical considerations of entomophagy", *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 59, no. 17, pp. 2760-2771, 2019.
- [54] A. Martínez, C. Marín, D. Rodrigo, P. S. Fernández, C. M. Rosell. "Los insectos alimentan al mundo", Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, www.acnv.es/news/los-insectos-alimentan-al-mundo/
- [55] M. Zumbado, D. Azofeifa. "Insectos de importancia agrícola – Guía Básica de entomología", *Programa Nacional de Agricultura Orgánica*, mag.go.cr/bibliotecavirtual/H10-10951.pdf.
- [56] V. Heuzé, G. Tran. "Housefly maggot meal", feedipedia.org/node/671
- [57] G. Tran, C. Gnaedinger, C. Mélin. "Mealworm (*Tenebrio molitor*)". feedipedia.org/node/1640
- [58] V. Heuzé, G. Tran, S. Giger, F. Lebas. "Harina de pupa de gusanos de seda". feedipedia.org/node/199
- [59] S. Ray, S. Basu, L. J. Rivera, F. E. Acevedo, J. Louis, G.W. Felton, D. S. Luthe, "Lessons from the far end: caterpillar frass-induced defenses in maize, rice, cabbage, and tomato", *Journal of Chemical Ecology*, vol. 42, pp. 1130-1141, 2016.
- [60] F. E. Acevedo, M. Peiffer, C.W. Tan, B. A. Stanley, A. Stanley, J. Wang, A. G. Jones, K. Hoover, C. Rosa, D. Luthe, G. Felton. "Fall armyworm-associated gut bacteria modulate plant defense responses". *Molecular Plant-Microbe Interactions*, vol. 30, pp.127-137, 2017.
- [61] E. A. Ferruzca, R. G. Guevara, R. Guzmán, R. Reynoso. "Bio-stimulant or Elicitor Effect Of Cricket Frass (*Acheta domestica*) On The Production Of Tomato Under Greenhouse", XVIII Congreso Internacional de Ingeniería CONIIN, México, 2022.

