

Evaluación de extractos de residuos de naranja y limón para el control de *Tenebrio molitor*

Evaluation of orange and lemon residue extracts for the control of *Tenebrio molitor*

Recibido: 30 de mayo 2024

Aceptado: 19 de junio de 2024

Pedro Aguilar-Zárte
Laboratorio Nacional CONAHCYT para la Evaluación de Productos Bióticos-LaNAEPBi
unidad de servicio Tecnológico Nacional de México / I. T. de Ciudad Valles
<https://orcid.org/0000-0002-7983-9022>

Mariela Ramona Michel Michel
Laboratorio Nacional CONAHCYT para la Evaluación de Productos Bióticos-LaNAEPBi
unidad de servicio Tecnológico Nacional de México / I. T. de Ciudad Valles
<https://orcid.org/0000-0002-1750-2467>
Autor de correspondencia: mariela.michel@tecvalles.mx

Daniel Perales Rosas
Laboratorio Nacional CONAHCYT para la Evaluación de Productos Bióticos-LaNAEPBi
unidad de servicio Tecnológico Nacional de México / I. T. de Ciudad Valles
<https://orcid.org/0000-0003-4257-3993>

Mairiel Valle de la Paz
Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Autónoma de Guerrero.
<https://orcid.org/0000-0002-5411-1481>

RESUMEN

La agroindustria de cítricos genera grandes cantidades de residuos que, en su mayoría, no son aprovechados, representando un problema ambiental. Sin embargo, estos residuos contienen compuestos bioactivos que pueden ser utilizados en diversas aplicaciones, incluyendo el control de plagas. El uso de extractos de residuos cítricos no sólo promueve una economía circular al reutilizar desechos agroindustriales, sino que también puede reducir la dependencia de insecticidas químicos, que suelen tener efectos adversos sobre la salud humana y el medio ambiente. Diversos estudios han demostrado que los cítricos contienen flavonoides, aceites esenciales y otros compuestos con propiedades insecticidas, lo que los convierte en una alternativa prometedora. En la región de la Huasteca Potosina, se cosecha la naranja (*Citrus sinensis*) y el limón (*Citrus limon*), por ello se aprovecharon los residuos de estos cítricos para desarrollar un insecticida. El estudio mostró que las concentraciones del 100 % y 50 % de estos extractos fueron las más efectivas. Particularmente, los extractos de limón redujeron la población del insecto a la mitad en sólo dos días. Estos compuestos interfieren en el ciclo de vida de *Tenebrio molitor*, disminuyendo su tasa de reproducción y aumentando su mortalidad. Este trabajo pretende desarrollar un insecticida de bajo costo, aprovechando los residuos agroindustriales, añadiendo valor a estos desechos y ofreciendo una solución más sostenible y menos tóxica en comparación con los pesticidas químicos.

Palabras clave: Economía circular, residuos de cítricos, compuestos bioactivos, control de plagas, insecticida natural.

Abstract

The citrus agroindustry generates large amounts of waste, most of which is not used, representing an environmental problem. However, this waste contains bioactive compounds that can be used in various applications, including pest control. Using citrus waste extracts not only promotes a circular economy by reusing agro-industrial waste. Still, it can also reduce dependence on chemical insecticides, which often have adverse effects on human health and the environment. Various studies have shown that citrus fruits contain flavonoids, essential oils, and other compounds with insecticidal properties, making them a promising alternative. In the Huasteca Potosina region, orange (*Citrus sinensis*) and lemon (*Citrus limon*) are harvested, so the waste from these citrus fruits was used to develop an insecticide. The study showed that concentrations of 100 % and 50 % of these extracts were the most effective. Specifically, lemon extracts reduced the insect population by half in just two days. These compounds interfere with the life cycle of *Tenebrio molitor*, decreasing its reproduction rate and increasing its mortality. This work aims to develop a low-cost insecticide, taking advantage of agro-industrial waste, adding value to this waste, and offering a more sustainable and less toxic solution compared to chemical pesticides.

Keywords: Circular economy, citrus waste, bioactive compounds, pest control, natural insecticide.

INTRODUCCIÓN

La valorización de los residuos agroalimentarios en productos de valor añadido puede minimizar su generación y reducir la contaminación ambiental. En la actualidad el consumo de frutas, verduras y productos de valor añadido aumentó con el crecimiento económico de varios países, así como la generación de residuos como cáscaras, semillas y gabazo en grandes cantidades en las ciudades, lo que genera graves problemas ambientales (Visakh, et al., 2022).

La agroindustria de cítricos es muy importante ya que son de las familias de frutas que más se cultivan en el mundo. Estas frutas se utilizan en un mayor porcentaje para la obtención de jugos. La cáscara de cítricos es el principal residuo. Sin embargo, también es una fuente de melaza, pectina y limoneno que algunas veces se le da un proceso de secado y se vende como alimento para el ganado, mezclada con harina seca (Chen et al., 2012).

Los cítricos más consumidos son limero (*Citrus aurantifolia*), mandarino (*Citrus reticulata*), lima (*Citrus limetta*) y limón (*Citrus limon*). Generan grandes cantidades de residuos de estos frutos que no son aprovechados adecuadamente. Sin embargo, estos residuos contienen compuestos bioactivos que pueden ser utilizados en diversas aplicaciones, incluyendo el control de plagas. La gestión eficiente de estos residuos no sólo mitigaría el impacto ambiental, sino que también proporcionaría una fuente sostenible de productos naturales con potencial insecticida (Suri et al., 2022).

El uso de extractos de residuos cítricos no sólo promueve una economía circular al reutilizar desechos agroindustriales (Cano-Lamadrid, M., et al., 2021) sino que también puede reducir la dependencia de insecticidas químicos sintéticos, que suelen tener efectos adversos sobre la salud humana y el medio ambiente. La economía circular, es una estrategia de gran relevancia para reducir el daño ambiental y promover el desarrollo sustentable al utilizar y aprovechar al máximo los recursos (Córdova et al., 2021).

Anteriormente se utilizaba el modelo económico lineal el cual consistente en tomar, después hacer, y por último tirar, donde no hay un aprovechamiento de los residuos. Para este modelo lineal utilizan formas económicas para deshacerse de lo que ya no interesa y por lo tanto ha rebasado los límites físicos. Tal modelo no es sostenible (Steffen et al., 2015), ha generado problemas ambientales como la contaminación y uso excesivo de la tierra y campos, agua, aire, la pérdida de biodiversidad entre otros factores que causan el deterioro de la tierra, todo esto ha rebasado la capacidad del planeta (Esposito et al., 2018). Por ello en diversos países han cambiado al modelo de economía circular, el cual representa una gran estrategia para el crecimiento y cuidado de su población.

Las estrategias de revalorización de residuos en las distintas fases del proceso productivo y la logística, y/o el uso de residuos (subproductos) como materia prima de partida para la elaboración de productos de mayor valor añadido con gran potencial de aplicación en la industria (Gullón & Yáñez, 2022); pueden suponer un cambio en el modelo productivo del sector y evolucionar hacia una economía circular más diversificada y sostenible.

Diversos estudios han demostrado que los cítricos contienen flavonoides, aceites esenciales (Maqbool et al., 2023), terpenoides (Visakh et al., 2022) con propiedades insecticidas, lo que los convierte en una alternativa prometedora. En la región de la Huasteca Potosina se cosecha la naranja (*Citrus sinensis*) y el limón (*Citrus limon*) debido a las condiciones climatológicas.

Naranja y sus propiedades

La naranja es una de las frutas de mayor producción e industrialización a nivel mundial, pero generándose también un subproducto significativo como su cáscara. En la perspectiva de un aprovechamiento integral se debe valorizar a este subproducto mediante la extracción (Farag et al., 2020). La cáscara de naranja contiene varios compuestos bioactivos con aplicaciones industriales y beneficios para la salud. Estos compuestos incluyen aceites esenciales, flavonoides, carotenoides, ácidos fenólicos, pectinas, fibra dietética y vitaminas (Topuz et al., 2005). Los compuestos bioactivos de la cáscara de naranja tienen diversas aplicaciones.

Limón y sus propiedades

El limón es una de las principales exportaciones de México y es la tercera especie de cítricos más importante del mundo, por detrás del naranjo y el mandarino. México es el segundo productor a nivel mundial, y además fue el primer lugar en 2022 en exportación de limas y limones (Castillo- González et al., 2024). Esta fruta, consumida en forma de zumo, se caracteriza por la gran cantidad de nutrientes beneficiosos para la salud. De la cáscara del limón se extraen aceites esenciales los cuales son compuestos concentrados volátiles naturales de origen orgánico extraídos de los residuos del limón los cuales tienen la función de proteger al fruto el cual también contienen diferentes compuestos bioactivos, sustancias químicas que se encuentran en pequeñas cantidades cumpliendo distintas funciones como suelen ser compuestos fenólicos, vitamina C, ácido cítrico (Benestante et al., 2023).

Métodos de extracción

Los métodos de extracción utilizados incluyen la extracción con un disolvente orgánico o mezclas de disolventes, que se basa en la transferencia de masa desde la muestra al disolvente de extracción según la solubilidad del analito en dicho disolvente. Donde se emplean solventes orgánicos como etanol, metanol y acetona para extraer los aceites, los flavonoides, carotenoides entre otros compuestos. En este tipo de extracción se utilizan diferentes técnicas desde la maceración, el soxhlet, la agitación magnética y la extracción por microondas. La extracción por ultrasonido utiliza cavitación ultrasónica para mejorar la eficiencia de la extracción al romper las paredes celulares de la cáscara y liberar los compuestos bioactivos, siendo un método rápido y que reduce la cantidad de solvente requerido (Alara et al., 2021). Además se ha reportado el uso de extracción por ultrasonido para cáscaras de cítricos como la naranja, donde obtuvieron un alto contenido de compuestos bioactivos (M'hiri et al., 2015).

Organismo modelo *Tenebrio molitor*

Tenebrio molitor (TM), un escarabajo de la familia Tenebrionidae, es uno de los insectos más estudiados en el mundo científico. TM, como todos los insectos, es un animal poiquilotérmico y tiene una alta tasa de conversión alimenticia (Hong et al., 2020). Este es un organismo modelo que permite realizar experimentos a nivel laboratorio.

Plagas en la región Huasteca

En las regiones del estado de San Luis Potosí existen gran variedad de plagas que afectan a una gran parte de los cultivos. Se ha establecido la atención a sectores de la población vulnerables y fomentar la producción de cultivos de caña, maíz, frijol, trigo panificador, etc. Se buscan alternativas para aminorar los costos de producción en insecticidas y plaguicidas para el control de plagas que afectan en un gran porcentaje en el buen crecimiento de los cultivos. Las plagas han representado un problema serio para la producción de cultivos, estas afectan a la planta en forma directa y en muchos casos son responsables de la transmisión de enfermedades y causante

de pérdidas de gran parte de cultivos. Algunas de las alternativas viables para reducir densidades poblacionales de plagas han sido los controles de insecticidas botánicos ya que tienen la propiedad de aminorar los costos de producción por ser productos no persistentes, ayudan al control y eliminación de plagas, no ocasionan daños a organismos benéficos y se biodegradan rápidamente (García et al., 2015).

Los plaguicidas químicos afectan la salud humana y animal, contaminando el aire, suelos y agua, son sustancias químicas utilizadas para controlar, prevenir o destruir las plagas que afectan a las plantaciones agrícolas (Bedmar 2011). Plaguicidas organofosforados, organoclorados, carbamatos, bupiridilos, clorofenoles y fenoxiácidos; afectan, principalmente, el sistema nervioso central y sistema nervioso periférico. Piretrinas y triazinas alteran el funcionamiento adrenal. Los organofosforados entran por la dermis y se acumulan en el tejido adiposo, apareciendo los efectos de intoxicación 1-3 h después (Guerra et al., 2006).

El DDT; un insecticida organoclorado, soluble en grasas y disolventes apolares, prácticamente insoluble en agua, y prohibido su uso actualmente; es uno de los plaguicidas químicos más tóxicos fabricados. Su toxicidad es debido a su estabilidad y persistencia en el ambiente. La toxicidad de muchos plaguicidas se basa, principalmente en su acumulación en el tejido adiposo de humanos y animales (Turusov et al., 2002). Aunque, los plaguicidas químicos también tienen efecto benéfico; ya que son capaces de controlar plagas en grandes extensiones de terreno sembrado, eliminan vectores que afectan los cultivos y la salud humana; los efectos son negativos a largo plazo. Considerando lo anterior, se hace necesario encontrar alternativas para realizar una agricultura sustentable. Un adecuado Manejo Integrado de Plagas Agrícolas integra el control biológico de plagas, los biopesticidas, y otras alternativas. Los biopesticidas, son una alternativa importante para ser considerada (Lengai et al., 2018). Son sustancias químicas naturales que controlan plagas agrícolas por mecanismos no tóxicos y de manera amigable con el medio ambiente. Muchos de los biopesticidas, actualmente en desarrollo, se basan en la disponibilidad de plantas locales, como *Azadirachta indica* (Neem), *Moringa oleifera*, *Melia azedarach* (Paraíso), entre otras (Esparza et al., 2010).

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue investigar el potencial insecticida de los extractos de residuos de naranja y limón provenientes de la región de la Huasteca Potosina, analizando su efecto sobre la mortalidad y comportamiento de *T. molitor*. Este estudio contribuirá al desarrollo de estrategias de manejo de plagas más ecológicas y sostenibles, alineadas con los principios de la agroecología y la sostenibilidad ambiental.

METODOLOGÍA

Obtención de la muestra

La cáscara de las frutas en este caso el limón (*citrus limon*) y la naranja (*citrus sinensis*), se obtuvieron de los residuos generados del mercado local de Ciudad Valles, San Luis Potosí, donde preparan jugos y limonadas. Posteriormente se procedió a limpiar las cáscaras con agua de la llave para eliminar la tierra. Cabe destacar que se utilizó el residuo agroindustrial completo las cáscaras junto con el bagazo. Se picaron en cuadritos pequeños y se almacenaron en bolsas completamente limpias a 4 °C para su posterior uso.

Preparación de los extractos de residuos cítricos

Se realizó un diseño factorial 3 a la 2, con 3 concentraciones de etanol (100 %, 50 % y 25 %)

por triplicado para los residuos de naranja y limón por separado Figura 1. Se utilizó 1 g de materia seca en 10 mL de solvente. Los extractos se realizaron en el ultrasonido a un tiempo de extracción de 10 minutos.

Cada extracto se filtró con papel Whatman No. 1 para eliminar el sólido. Posteriormente se evaporó el solvente por medio de la estufa a una temperatura de 50 °C por 60 horas.

Figura 1.

Extracción de los residuos cítricos



Nota: La presente imagen muestra los experimentos realizados para la extracción de los compuestos bioactivos de residuos de naranja y limón. Fuente: Propia

Aplicación de los extractos con el organismo modelo *Tenebrio molitor*

Se realizó el rociado de los extractos sobre el organismo modelo *Tenebrio molitor* y posteriormente se les colocó alimento en una parte del recipiente. Los experimentos se cubrieron con una tapa que tiene una parte de malla para regular el aire entrante a los organismos. Las muestras se colocaron en un área que permitía la ventilación de las mismas a temperatura ambiente. Los experimentos se realizaron por quintuplicado para cada una de las concentraciones de extracción.

Monitoreo del organismo modelo *Tenebrio molitor*

Se llevó a cabo un registro diario de los *Tenebrios molitor* vivos y muertos en cada experimento realizado, con el fin de comprobar cuál extracto era más eficiente contra los insectos.

Evaluación de resultados obtenidos

Al obtener la totalidad de registros del insecto modelo con los diferentes extractos se realizó un análisis estadístico. Los datos obtenidos para la mortalidad con los extractos de residuos de limón y naranja se analizaron utilizando el ANOVA. Las medias de los tratamientos se compararon utilizando la prueba de rango múltiple de Tukey. Los análisis se realizaron utilizando el software estadística 7.

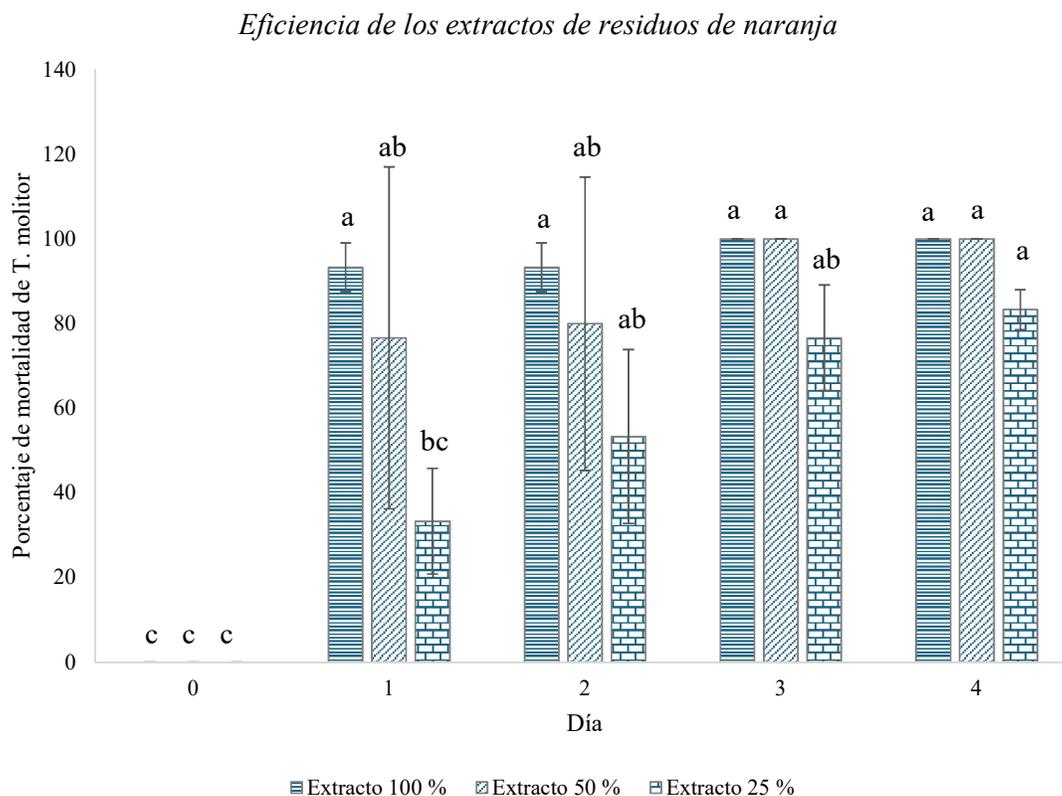
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 2 se muestran los resultados de la eficiencia de mortalidad de los extractos de residuos de naranja utilizando distintas concentraciones de etanol para la extracción, bajo el

equipo de ultrasonido. Una vez colocados todos los experimentos y aplicados los tratamientos con sus respectivas repeticiones, se comenzó el proceso de monitoreo, el cual fue por 4 días consecutivos.

Con el monitoreo diario se buscó observar los cambios en el insecto modelo y evaluar la efectividad de cada uno de los tratamientos. Se observó que para las concentraciones de 100 % y 50 % lograron una mortalidad total de *Tenebrio molitor* al tercer día. Mientras que la concentración del 25 % no fue igual efectiva, con un porcentaje de mortalidad del 76.66 % al tercer día (Figura 2). Sin embargo, el análisis estadístico nos muestra que al cuarto día no hay una diferencia significativa entre los tres tratamientos. En la Figura 3 muestra los experimentos realizados por triplicado con el insecto modelo *T. molitor*. Donde se observa que el insecto no logro llegar a su etapa de adulto y además presentó cambios en la estructura después de los tratamientos con extractos de residuos de cítricos. También los *T. molitor* presentaron una coloración más oscura con el paso de los días, hasta llegar al cuarto día donde estaban en su mayoría completamente color marrón oscuro.

Figura 2.



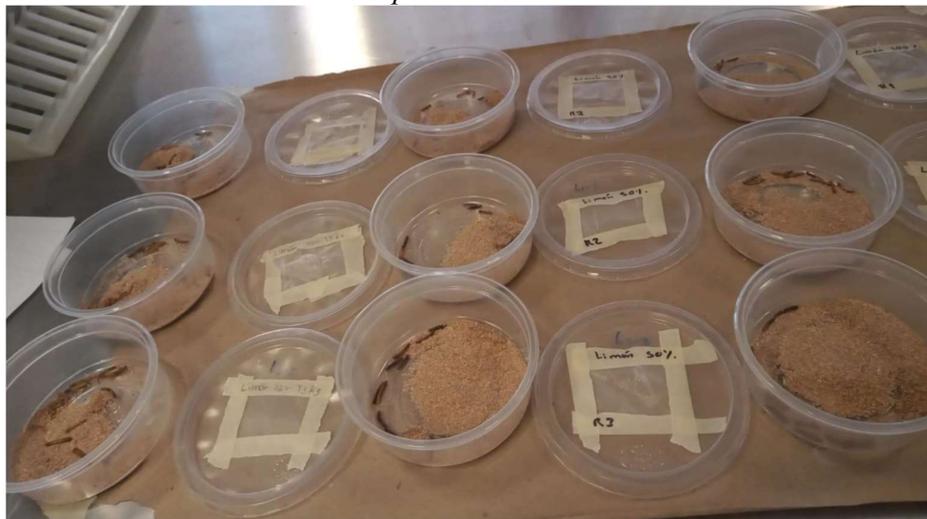
Nota: En la presente gráfica se realiza la comparativa de los promedios de la eficiencia de los extractos de residuos de naranja contra el insecto modelo *Tenebrio molitor*. Letras distintas indican diferencia significativa. Fuente: Propia

Los resultados sugieren que los componentes bioactivos presentes en los extractos de residuos

de naranja, tales como los flavonoides y los terpenoides, la efectividad es más rápida a concentraciones más altas. Estos compuestos pueden interferir con el sistema nervioso de los tenebrios, provocando su muerte. La menor mortalidad observada fue en la concentración del 25 % del extracto de residuos de naranja y esto se le puede atribuir a una insuficiente cantidad de los compuestos bioactivos para causar efectos letales de manera breve en el insecto modelo.

Figura 2.

*Monitoreo de los experimentos con *Tenebrio molitor**



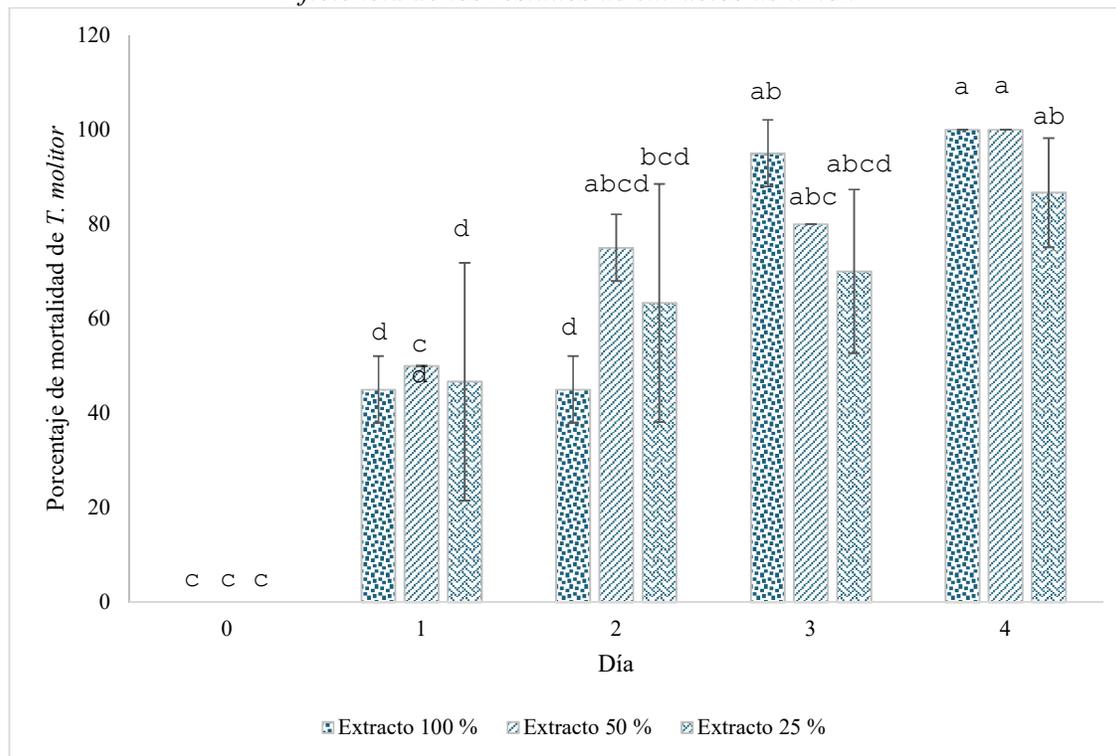
Nota: La presente imagen muestra los experimentos realizados con los extractos de residuos cítricos contra el insecto modelo *Tenebrio molitor*. Fuente: Propia

En la Figura 4 se muestran los resultados de la eficiencia de mortalidad de los residuos de extractos de limón utilizando distintas concentraciones de etanol para la extracción, por medio ultrasonido. En los tratamientos con extractos de limón se puede observar para la concentración de 100 % de solvente una mortalidad del 95 % para el tercer día y para el cuarto día, se logró un 100 % de mortalidad. En cambio, en la concentración de 50 % de etanol lograron una mortalidad total de *Tenebrio molitor* al cuarto día. Mientras que la concentración del 25 % solo se obtuvo una mortalidad del 86.66 % para el cuarto día. Sin embargo, al realizar el análisis estadístico, no existe una diferencia entre los tratamientos.

Las concentraciones de extracto de 50 % tanto para naranja como limón son una gran alternativa, ya que se logró una mortalidad del 100 % al tercer y cuarto día respectivamente contra el insecto modelo *T. molitor*. Y además se requiere una concentración menor de etanol. Si por estrategia se requiere disminuir el uso del solvente, con las concentraciones del 25 % de extractos se lograron mortalidades del 86.66 % y 83.33 % para los extractos de residuos de limón y naranja respectivamente, logrando el potencial insecticida.

Figura 4.

Eficiencia de los residuos de extractos de limón



Nota: En la presente gráfica se realiza la comparativa de los promedios de la eficiencia de los extractos de residuos de limón contra el insecto modelo *Tenebrio molitor*. Letras distintas indican diferencia significativa. Fuente: Propia

Las cáscaras de cítricos contienen valiosas moléculas biológicamente activas, que no se aprovechan plenamente y se desechan como residuos. Las industrias procesadoras de cítricos generan aproximadamente 50 millones de toneladas de residuos anuales, con las cáscaras representando el 50-55 % de estos desechos. Las soluciones tradicionales de gestión de residuos como vertederos, compostaje y alimentación animal no son ideales debido a problemas como el bajo contenido de nitrógeno y las propiedades antimicrobianas del aceite esencial, lo que dificulta la descomposición y compostaje de las cáscaras (Visakh et al., 2022).

Estudios de investigación recientes apuntan a diversas aplicaciones de los aceites esenciales extraídos de los residuos de la cáscara de los cítricos como actividades insecticidas, antimicrobianas y antioxidantes (De Araújo et al., 2020; Mirzaei-Najafgholi et al., 2017). Sin embargo, la mayoría de los estudios anteriores se centraron en las especies individuales de aceites esenciales de hojas y cáscaras de cítricos. Por el contrario, la caracterización comparativa del aceite esencial a partir de diferentes residuos de cáscara de cítricos y sus estudios de insecticidas, antioxidantes y fitotoxicidad siguen siendo poco conocidos.

Los aceites esenciales presentan muchas ventajas con comparación con los productos químicos sintéticos, entre estas destacan una menor toxicidad para los mamíferos, reducción o evitación

de insecticidas, resistencia, actividad biofumigante y de las más importantes menor persistencia ambiental (Visakh et al., 2022).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede concluir que los compuestos derivados de los residuos de cáscara de naranja y de limón poseen propiedades bioactivas eficaces en la reducción de la población del insecto plaga *Tenebrio molitor*. Las concentraciones más efectivas de los extractos fueron las de 100 % y 50 % tanto para residuos de cáscara de limón como de naranja, con un 100 % de mortalidad contra el insecto modelo *T. Molitor*. Sin embargo, se evidenció que, en los extractos de residuos de naranja, la población del organismo modelo había disminuido a un 80 % para el segundo día con la concentración de solvente de 50 %. Esta concentración presenta los mejores resultados, con un tiempo corto de mortalidad.

Los ensayos demostraron que estos extractos, aplicados en concentraciones adecuadas, interfieren en el ciclo de vida del insecto modelo *Tenebrio molitor*, reduciendo su tasa de reproducción y aumentando la mortalidad. Los extractos tienen propiedades insecticidas gracias a los compuestos bioactivos presentes. Dentro de los aceites esenciales presentes destaca el limoneno, el cual ha mostrado un buen efecto insecticida contra plagas de granos almacenados (Visakh, et al., 2022). Los extractos al no presentar fitotoxicidad se pueden emplear no solo como insecticidas en cultivos, sino en harinas y granos almacenados (Visakh, et al., 2022), o también para eliminar insectos en el hogar en zonas muy tropicales, como lo es la Huasteca Potosina.

La realización de extractos de residuos cítricos con propiedades insecticidas representa una estrategia multifacética que aborda problemas ambientales, económicos y de salud, al mismo tiempo que ofrece soluciones sostenibles y efectivas para el control de plagas, y apoya a la economía local. La gestión de residuos alimentarios dentro de la industria alimentaria es fundamental, lo que estimula un creciente interés por el desarrollo de nuevas estrategias de valorización. Y además se estaría trabajando en una economía circular, la cual se emplea como estrategia para reducir el daño ambiental y promover el desarrollo sustentable al utilizar y aprovechar al máximo los recursos. Con este trabajo se logró estudiar el potencial insecticida de los residuos de cítricos, el cual es de bajo costo, aprovechando los residuos agroindustriales de la región y otorgándoles un valor agregado, para aplicarlo en los cultivos afectados por diversas plagas. Esta alternativa biológica ofrece una solución más sostenible y menos tóxica en comparación con los pesticidas químicos tradicionales, los cuales causan problemas de contaminación y daño a la salud humana.

REFERENCIAS

- Alara, O. R., Abdurahman, N. H., & Ukaegbu, C. I. (2021). Extraction of phenolic compounds: A review. *Current research in food science*, 4, 200-214.
- Bedmar, F. (2011). ¿Qué son los plaguicidas?. *Ciencia hoy*, 21(122), 11-16.
- Benestante, A., Chalapud, M. C., Bäuml, E., & Carrín, M. E. (2023). Physical and mechanical properties of lemon (*Citrus lemon*) seeds. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 22(4), 205-213.
- Cano-Lamadrid, M., & Artes-Hernandez, F. (2021). By-products revalorization with non-

- thermal treatments to enhance phytochemical compounds of fruit and vegetables derived products: A review. *Foods*, 11(1), 59.
- Castillo-González, E., De Medina-Salas, L., Giraldo-Díaz, M. R., Velásquez-De La Cruz, R., & Jiménez-Ochoa, J. R. (2024). Environmental Impacts Associated with the Production and Packing of Persian Lemon in Mexico through Life-Cycle Assessment. *Clean Technologies*, 6(2), 551-571.
- Chen, Z. T., Chu, H. L., Chyau, C. C., Chu, C. C., & Duh, P. D. (2012). Protective effects of sweet orange (*Citrus sinensis*) peel and their bioactive compounds on oxidative stress. *Food chemistry*, 135(4), 2119-2127.
- Córdova Preciado, M. L., Salgado Beltrán, L., & Bravo Díaz, B. (2021). Circular economy and it's situation in Mexico. *Indiciales*, 1(1), 13.
- De Araújo, A. C. J., Freitas, P. R., dos Santos Barbosa, C. R., Muniz, D. F., Rocha, J. E., da Silva, A. C. A., ... & Coutinho, H. D. M. (2020). GC-MS-FID characterization and antibacterial activity of the *Mikania cordifolia* essential oil and limonene against MDR strains. *Food and Chemical Toxicology*, 136, 111023.
- Esparza-Díaz, G., López-Collado, J., Villanueva-Jiménez, J. A., Osorio-Acosta, F., Otero-Colina, G., & Camacho-Díaz, E. (2010). Concentración de azadiractina, efectividad insecticida y fitotoxicidad de cuatro extractos de *Azadirachta indica* A. Juss. *Agrociencia*, 44(7), 821-833.
- Esposito, M., Tse, T., & Soufani, K. (2018). The circular economy: An opportunity for renewal, growth, and stability. *Thunderbird international business review*, 60(5), 725-728.
- Farag, M. A., Abib, B., Ayad, L., & Khattab, A. R. (2020). Sweet and bitter oranges: An updated comparative review of their bioactives, nutrition, food quality, therapeutic merits and biowaste valorization practices. *Food Chemistry*, 331, 127306.
- García, B. F. (2015). Aplicación de los residuos cítricos como fuente de biocidas naturales. Obtención de extractos bioactivos (Doctoral dissertation, Universidad de Cádiz).
- Guerra, E., Gutiérrez, A., Tongo, P., Guzman, F., Jiménez, M., & Chávez, H. (2006). Detección significativa de plaguicidas en agricultores, frutos, y suelos del alto y bajo Piura. *Universalía*, 11(2), 24-32.
- Gullón, B., & Yáñez, R. (2022). Recovery of high value-added compounds from food by-product. *Foods*, 11(12), 1670.
- Hong, J., Han, T., & Kim, Y. Y. (2020). Mealworm (*Tenebrio molitor* Larvae) as an alternative protein source for monogastric animal: A review. *Animals*, 10(11), 2068.
- Lengai, G. M., & Muthomi, J. W. (2018). Biopesticides and their role in sustainable agricultural production. *Journal of Biosciences and Medicines*, 6(6), 7-41.
- Maqbool, Z., Khalid, W., Atiq, H. T., Koraqi, H., Javaid, Z., Alhag, S. K., & Al-Farga, A. (2023). Citrus waste as source of bioactive compounds: Extraction and utilization in health and food industry. *Molecules*, 28(4), 1636.
- Mirzaei-Najafgholi, H., Tarighi, S., Golmohammadi, M., & Taheri, P. (2017). The effect of citrus essential oils and their constituents on growth of *Xanthomonas citri* subsp. *citri*. *Molecules*, 22(4), 591.
- M'hiri, N., Ioannou, I., Boudhrioua, N. M., & Ghoul, M. (2015). Effect of different operating conditions on the extraction of phenolic compounds in orange peel. *Food and bioproducts processing*, 96, 161-170.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., ... & Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *science*, 347(6223), 1259855.
- Suri, S., Singh, A., & Nema, P. K. (2022). Current applications of citrus fruit processing waste: A scientific outlook. *Applied Food Research*, 2(1), 100050.

- Topuz, A. Y. H. A. N., Topakci, M. E. H. M. E. T., Canakci, M. U. R. A. D., Akinci, I., & Ozdemir, F. E. R. A. M. U. Z. (2005). Physical and nutritional properties of four orange varieties. *Journal of Food Engineering*, 66(4), 519-523.
- Turusov, V., Rakitsky, V., & Tomatis, L. (2002). Dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT): ubiquity, persistence, and risks. *Environmental health perspectives*, 110(2), 125-128.
- Visakh, N. U., Pathrose, B., Chellappan, M., Ranjith, M. T., Sindhu, P. V., & Mathew, D. (2022). Chemical characterisation, insecticidal and antioxidant activities of essential oils from four Citrus spp. fruit peel waste. *Food Bioscience*, 50, 102163.
- Visakh, N. U., Pathrose, B., Narayanankutty, A., Alfarhan, A., & Ramesh, V. (2022). Utilization of pomelo (*Citrus maxima*) peel waste into bioactive essential oils: Chemical composition and insecticidal properties. *Insects*, 13(5), 480.