

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES  
ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS**

**Nombre del estudiante:** Sergio Martín Jara Sánchez

**Porcentaje de créditos:** 100%

**Nombre del tutor:** Dra. Lenys Fernández

**Título de monografía:** Perfil fitoquímico y toxicidad del *Lonchocarpus urucú*: Ingredientes activos y su potencial en el control biológico

**Área en la que se inscribe la investigación:** Productos naturales

**Quito, 2025**

Certifico que la Monografía de QUÍMICA, del Sr. ....SERGIO MARTÍN JARA SÁNCHEZ..... ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente.

.....  
Firma del tutor de la monografía

Dra. Lenys Fernández

Quito, 6 de Julio de 2025

## INDICE

<b>1. RESUMEN</b> .....	1
<b>2. ABSTRACT</b> .....	2
<b>3. INTRODUCCIÓN</b> .....	3
<b>4. OBJETIVOS</b> .....	4
4.1. OBJETIVO GENERAL .....	4
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	5
<b>5. FUNDAMENTO TEÓRICO</b> .....	5
<b>Capítulo I</b> .....	5
<b>Descripción general de la planta <i>Lonchocarpus urucú</i></b> .....	5
5.1. ¿Qué es <i>Lonchocarpus urucú</i> ? .....	5
5.2. Características físicas de la planta.....	6
5.3. ¿Dónde se encuentra ubicado? .....	6
5.4. Referencias actuales sobre la misma .....	7
5.5. Usos sobre la misma .....	8
5.6. Ingredientes activos que se podrían encontrar en ella .....	8
<b>Capítulo II</b> .....	9
<b>Perfil fitoquímico y toxicológico de <i>Lonchocarpus urucú</i></b> .....	9
5.7. Rotenoides como metabolitos principales.....	9
5.8. Metabolitos secundarios adicionales.....	10
5.9. Comparativas entre autores sobre composición.....	10
5.10. Toxicidad de los ingredientes activos del <i>Lonchocarpus urucú</i> en organismos modelo: 11	
5.11. Comparativas entre estudios .....	13
5.12. Potencial del <i>Lonchocarpus urucú</i> como alternativa en el control biológico de plagas vectores .....	14
5.13. Comparativa de eficacia frente a pesticidas sintéticos .....	15
5.14. Aplicaciones específicas en control de vectores .....	15
5.15. Ventajas agronómicas y operativas .....	16
5.16. Limitaciones y riesgos .....	16
5.17. Discusión comparativa entre autores .....	17
5.18. Impacto ambiental y viabilidad del uso de los ingredientes activos del <i>Lonchocarpus urucú</i> en estrategias sostenibles .....	17
5.19. Viabilidad económica y socioproductiva.....	19
5.20. Comparativa de sostenibilidad con pesticidas convencionales .....	20
5.21. Discusión comparativa entre autores .....	21
<b>Capítulo III</b> .....	21
<b>Perfil de ingredientes activos del <i>Lonchocarpus urucú</i></b> .....	21
5.22. Rotenona.....	21
5.23. Deguelina .....	24

5.24.	Tephrosina .....	27
5.25.	Flavonoides y compuestos fenólicos en <i>Lonchocarpus urucú</i> .....	30
5.26.	Terpenoides en <i>Lonchocarpus urucú</i> .....	33
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>35</b>
<b>7.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b> .....	<b>39</b>

Quiero agradecer primero a Dios por darme el valor, las fuerzas y las energías para culminar mi trabajo escrito de titulación. También quiero agradecer al Ing. Patricio Jara (mi padre) por darme la inspiración y la curiosidad sobre el tema el cual seleccione como título de investigación de este trabajo; junto con él a la Sra. Lorena Sánchez (mi madre) por darme siempre el apoyo y las palabras de aliento para continuar durante todo el periodo de realización de la carrera y de este trabajo. Junto a ellos quiero agradecer a la Srta. Carla Lara (mi enamorada) por ser un apoyo y una voz de aliento en momentos difíciles durante la carrera; por ser mi compañía en esas noches donde tenía que quedarme estudiando y leyendo para la realización de este documento. También quiero agradecer a mis amigos Srta. Eliza Bastidas, Srta. Arianna Ostaiza, Sr. Josué Guilcapi y Sr. Sebastián Martínez por ser mis fieles acompañantes durante todo este trayecto de creación de mi trabajo de titulación fuera y dentro de la universidad.

A todos ellos va dedicado este trabajo de titulación. Gracias.

## 1. RESUMEN

*Lonchocarpus urucú*, también conocido como barbasco, es una especie vegetal amazónica de especial interés por su contenido de metabolitos secundarios bioactivos, entre los cuales destacan los rotenoides: rotenona, deguelina y tephrosina. Esta investigación aborda de manera integral la composición fitoquímica de la planta, los efectos tóxicos de sus ingredientes activos sobre organismos modelo, su eficacia como alternativa a pesticidas sintéticos y su impacto ambiental. Se determina que los rotenoides inhiben el complejo I de la cadena de transporte de electrones mitocondrial, provocando la interrupción del metabolismo energético en insectos y peces, lo que genera efectos insecticidas y pesticidas altamente eficaces.

Asimismo, se identifican otros compuestos relevantes, como flavonoides, terpenoides y compuestos fenólicos. Estos ingredientes secundarios actúan como antioxidantes, repelentes y sinérgicos, mejorando la estabilidad y eficacia del extracto total. La combinación de estos metabolitos confiere al *L. urucú* un perfil bioactivo complejo, cuya acción resulta comparable e incluso superior a algunos pesticidas sintéticos, con la ventaja adicional de una mayor biodegradabilidad y menor toxicidad acumulativa. Los análisis toxicológicos revelan una alta selectividad hacia insectos plaga, aunque se reconoce el potencial de riesgo para organismos no objetivo, como peces, polinizadores y fauna del suelo. Por ello, se plantea la necesidad de establecer protocolos de aplicación segura y regulaciones ambientales específicas.

Desde el punto de vista socioambiental, el uso de *L. urucú* puede fomentar la producción local de bioinsumos agrícolas, reducir la dependencia de agroquímicos importados y empoderar a comunidades rurales mediante modelos agroecológicos sostenibles. No obstante, su implementación requiere de estandarización, monitoreo ecológico y marcos normativos sólidos.

En síntesis, *Lonchocarpus urucú* representa una alternativa prometedora para el manejo ecológico de plagas y vectores, integrando eficacia biológica, compatibilidad ambiental y viabilidad socioeconómica.

## 2. ABSTRACT

*Lonchocarpus urucú*, commonly known as barbasco, is an Amazonian plant of particular interest due to its content of bioactive secondary metabolites, especially rotenoids such as rotenone, deguelin, and tephrosin. This research comprehensively addresses the plant's phytochemical composition, the toxicological effects of its active ingredients on model organisms, its efficacy as an alternative to synthetic pesticides, and its environmental impact. Rotenoids are shown to inhibit mitochondrial electron transport chain complex I, interrupting cellular energy metabolism in insects and fish and producing highly effective insecticidal and piscicidal activity.

In addition, other significant compounds are identified, including flavonoids, terpenoids, and phenolic derivatives. These secondary metabolites act as antioxidants, repellents, and synergistic agents, enhancing the stability and efficacy of the whole extract. The combination of these compounds gives *L. urucú* a complex bioactive profile, with a mode of action comparable—and in some cases superior—to that of synthetic pesticides, while also offering greater biodegradability and lower cumulative toxicity.

Toxicological analysis reveals high selectivity toward target pests, though the potential risks to non-target organisms such as fish, pollinators, and soil fauna are acknowledged. Therefore, the development of safe application protocols and specific environmental regulations is considered essential.

From a socio-environmental perspective, the use of *L. urucú* may promote the local production of botanical pesticides, reduce dependence on imported agrochemicals, and

empower rural communities through sustainable agroecological models. However, its implementation requires extract standardization, ecological monitoring, and robust regulatory frameworks.

In summary, *Lonchocarpus urucú* represents a promising alternative for the ecological management of pests and disease vectors, combining biological efficacy, environmental compatibility, and socio-economic viability.

### **3. INTRODUCCIÓN**

El *Lonchocarpus urucú*, conocido comúnmente como barbasco, es una planta tropical ampliamente reconocida por su capacidad para producir metabolitos secundarios con propiedades bioactivas, en particular rotenoides como la rotenona, deguelina, tefrosina y rotenolona (Fang & Casida, 1998; Gerhäuser et al., 1995). Estos compuestos, clasificados como ingredientes activos fundamentales, son altamente valorados en el control biológico de plagas y vectores de enfermedades debido a su toxicidad específica hacia insectos y peces (SciELO, 2002).

Históricamente, el barbasco ha sido utilizado por comunidades indígenas en la pesca artesanal, empleando los extractos de sus raíces para aturdir peces en cuerpos de agua. Este uso tradicional no solo pone de manifiesto su relevancia cultural, sino también destaca su eficiencia en aplicaciones biológicas (Flores, Sánchez & Cornejo, 2015). En la actualidad, los avances en la ciencia química han permitido una comprensión más profunda de sus componentes bioactivos, ofreciendo perspectivas prometedoras para su aplicación en estrategias sostenibles de control de plagas y enfermedades (Caballero-Gallardo, Olivero-Verbel & Stashenko, 2011).

El perfil fitoquímico del *Lonchocarpus urucú*, lo posiciona como una fuente de compuestos potencialmente útiles en la toxicología moderna. Su capacidad para inhibir procesos biológicos críticos en insectos y otros organismos no deseados, subraya su relevancia en el contexto actual de reducción de pesticidas sintéticos (SciELO, 2002).

El estudio detallado de los compuestos bioactivos del *Lonchocarpus urucú* no solo permite comprender su mecanismo de acción, sino que también abre nuevas posibilidades para su aplicación en estrategias de control biológico más seguras y sostenibles. A medida que aumenta la preocupación por los efectos adversos de los pesticidas sintéticos en la salud humana y el medio ambiente, el análisis de ingredientes activos de origen natural como los rotenoides adquiere una importancia crucial. En este contexto, esta monografía proporciona un enfoque integral sobre el perfil fitoquímico de esta especie, su potencial toxicológico y su relevancia en el desarrollo de alternativas ecológicas para el manejo de plagas y vectores de enfermedades.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. OBJETIVO GENERAL**

Analizar el perfil fitoquímico del *Lonchocarpus urucú*, con énfasis en la identificación y evaluación de sus ingredientes activos, para comprender su potencial toxicológico y su aplicación en estrategias de control biológico.

#### 4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar y analizar la composición fitoquímica del *Lonchocarpus urucú*, con especial atención a los rotenoides y otros metabolitos secundarios bioactivos.
- Explorar el potencial del *Lonchocarpus urucú* como alternativa en el control biológico de plagas y vectores de enfermedades, comparando su eficacia con pesticidas sintéticos convencionales.
- Evaluar el impacto ambiental y la viabilidad del uso de sus ingredientes activos en estrategias sostenibles.

## 5. FUNDAMENTO TEÓRICO

### Capítulo I

#### Descripción general de la planta *Lonchocarpus urucú*

##### 5.1. ¿Qué es *Lonchocarpus urucú*?

*Lonchocarpus urucú*, comúnmente conocida como barbasco, es una planta leguminosa perteneciente a la familia Fabaceae. Se trata de un arbusto o árbol pequeño de crecimiento silvestre, ampliamente conocido en regiones de América del Sur, especialmente por sus propiedades insecticidas. Esta planta ha sido utilizada tradicionalmente por diversas comunidades indígenas amazónicas, quienes aprovechan sus raíces y tallos para la pesca y el control de plagas debido a su contenido de rotenona, una sustancia química natural altamente tóxica para peces e insectos (Macedo et al., 2013).

Desde el punto de vista taxonómico, *Lonchocarpus urucú* se encuentra dentro del género *Lonchocarpus*, que incluye alrededor de 160 especies distribuidas en zonas tropicales y subtropicales. Su relevancia científica y etnobotánica ha crecido en las últimas décadas

debido al creciente interés en los pesticidas naturales y los compuestos bioactivos derivados de plantas (Silva et al., 2018).

## 5.2. Características físicas de la planta

*Lonchocarpus urucú* es una planta leñosa que puede alcanzar entre 2 y 5 metros de altura. Sus hojas son compuestas, imparipinnadas, con folíolos elípticos u oblongos de textura membranosa. Las flores, de color púrpura o lila, se agrupan en inflorescencias tipo racimo, y su fruto es una legumbre alargada que contiene varias semillas (Bressani et al., 2015).

Una de las características distintivas de la planta es la presencia de un látex lechoso en sus raíces, que contiene una alta concentración de rotenona. Esta sustancia se libera cuando las raíces o tallos se machacan, y actúa como un potente veneno que afecta el sistema respiratorio de los peces, lo que facilita su captura (Van Andel, 2000).

Además, la corteza y raíces emiten un olor penetrante al ser cortadas. Su sistema radicular es robusto, lo que le permite adaptarse a diversos suelos, desde arenosos hasta arcillosos, siempre que haya un buen drenaje.

## 5.3. ¿Dónde se encuentra ubicado?

En Ecuador, *Lonchocarpus urucú* se encuentra principalmente en la región amazónica, especialmente en las provincias de Napo, Orellana, Sucumbíos y Pastaza. Su hábitat natural incluye bosques húmedos tropicales, márgenes de ríos y áreas con alta humedad relativa, donde se desarrolla de forma silvestre. También ha sido identificada en algunas zonas del Parque Nacional Yasuní, una de las áreas más biodiversas del planeta (Bass et al., 2010).

La distribución geográfica de esta planta en Ecuador coincide con los territorios ancestrales de pueblos indígenas como los kichwa amazónicos y los waorani, quienes conocen y utilizan esta especie desde tiempos precolombinos. En estos contextos, *Lonchocarpus urucú* es apreciada no solo por sus aplicaciones prácticas, sino también por su valor cultural y espiritual.

En estudios de botánica económica realizados en Ecuador, se ha señalado que la planta no se cultiva de forma sistemática, sino que se recolecta del medio natural. Sin embargo, su uso sostenido ha llevado a algunas iniciativas de conservación y manejo responsable (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2016).

#### 5.4. Referencias actuales sobre la misma

En los últimos años, diversas investigaciones han abordado el potencial de *Lonchocarpus urucú* desde una perspectiva etnobotánica, farmacológica y ambiental. Por ejemplo, un estudio realizado por Macedo et al. (2013) exploró la eficacia de extractos de *L. urucú* como biopesticida, concluyendo que los compuestos presentes en sus raíces tienen una potente actividad insecticida frente a plagas agrícolas comunes.

Silva et al. (2018) analizaron el perfil químico de esta planta y encontraron que, además de rotenona, contiene otros flavonoides y compuestos fenólicos con propiedades antioxidantes y antimicrobianas. Estos hallazgos abren la puerta a futuras aplicaciones en el campo de la medicina natural y el desarrollo de productos fitofarmacéuticos.

En Ecuador, instituciones como el Instituto Nacional de Biodiversidad (INABIO) han documentado el uso tradicional de *Lonchocarpus urucú* en comunidades amazónicas. Asimismo, han promovido estudios participativos con pueblos indígenas para registrar conocimientos ancestrales relacionados con la flora local (INABIO, 2020).

### 5.5. Usos sobre la misma

El uso más conocido de *Lonchocarpus urucú* es como ictiotóxico, es decir, una sustancia utilizada para paralizar o matar peces, facilitando su captura. Este método, aún practicado por algunas comunidades amazónicas, consiste en triturar raíces o tallos de la planta y esparcirlos en cuerpos de agua, lo que provoca la inmovilización temporal de los peces, que flotan a la superficie (Van Andel, 2000).

Además del uso pesquero, *L. urucú* tiene aplicaciones agrícolas. Extractos obtenidos de sus raíces y tallos son empleados como insecticidas naturales para el control de plagas como pulgones, ácaros y larvas de lepidópteros en cultivos orgánicos (Macedo et al., 2013). Su uso como pesticida ecológico ha ganado interés debido a la necesidad de alternativas sostenibles frente a los agroquímicos sintéticos.

En medicina tradicional, algunos pueblos indígenas utilizan infusiones o decocciones suaves de la planta para tratar dolencias relacionadas con infecciones cutáneas y parasitarias. Sin embargo, estos usos deben ser manejados con precaución debido a la toxicidad de ciertos compuestos presentes en la planta (Silva et al., 2018).

### 5.6. Ingredientes activos que se podrían encontrar en ella

El principal ingrediente activo de *Lonchocarpus urucú* es la rotenona, una isoflavona que actúa como inhibidor de la cadena de transporte de electrones en las mitocondrias. Esta sustancia interfiere en el metabolismo celular, provocando la muerte de células en organismos expuestos, especialmente peces e insectos (Fang et al., 2019). La rotenona ha sido estudiada extensamente por su acción insecticida, aunque su uso comercial está actualmente restringido en varios países debido a preocupaciones ambientales y de salud.

Además de la rotenona, se han identificado otros compuestos bioactivos en esta planta, como deguelina, tefrosina y toxicarol, que también pertenecen al grupo de las rotenoides. Estos compuestos presentan propiedades similares, aunque en menor

concentración, y contribuyen a la eficacia biológica del extracto total de la planta (Silva et al., 2018).

La planta también contiene flavonoides y taninos, los cuales podrían estar relacionados con actividades antioxidantes y antimicrobianas. Estudios fitoquímicos recientes han sugerido que el perfil de metabolitos secundarios de *Lonchocarpus urucú* es complejo y prometedor para el desarrollo de productos farmacéuticos naturales (Fang et al., 2019).

## Capítulo II

### Perfil fitoquímico y toxicológico de *Lonchocarpus urucú*

#### 5.7. Rotenoides como metabolitos principales

La composición fitoquímica del género *Lonchocarpus*, y en particular de *Lonchocarpus urucú*, ha sido objeto de diversos estudios debido a su alto contenido de rotenoides, compuestos isoflavonoides con marcada actividad biológica. Entre los principales rotenoides se encuentran la rotenona, deguelina, teflosina y teflonina (Flores, Sánchez, & Cornejo, 2015). Estos compuestos actúan como inhibidores potentes del complejo I mitocondrial (NADH: ubiquinona oxidoreductasa), bloqueando la transferencia de electrones y generando un colapso del metabolismo energético celular, particularmente en insectos y peces (Fang & Casida, 1998).

Según Fang y Casida (1998), la rotenona presenta una potente capacidad de inhibición del complejo I con una selectividad notable hacia organismos de sangre fría, lo que explica su uso tradicional como pesticida. El estudio muestra que pequeñas modificaciones estructurales en los rotenoides pueden alterar significativamente su afinidad por el sitio activo del enzima blanco, lo cual es crucial para entender su perfil de toxicidad.

En contraste, Gerhäuser et al. (1995) destacan que estos rotenoides no sólo son tóxicos, sino que también poseen propiedades antioxidantes y quimiopreventivas contra el

cáncer, lo que sugiere una versatilidad farmacológica que excede su uso en control de plagas. Esta dualidad ha llevado a considerarlos no solamente como biopesticidas, sino también como potenciales agentes bioactivos en la medicina preventiva.

#### 5.8. Metabolitos secundarios adicionales

Además de rotenoides, *L. urucú* produce otros metabolitos secundarios como flavonoides, terpenos, cumarinas y compuestos fenólicos (Flores et al., 2015). Nakatani (2000) subraya la importancia de los antioxidantes fenólicos presentes en hierbas y especias, destacando su rol en la defensa frente al estrés oxidativo. La combinación de estos compuestos puede generar sinergias bioactivas que potencien la eficacia del extracto total frente a extractos fraccionados.

A pesar de estas ventajas, la cantidad y proporción de metabolitos puede variar considerablemente entre especies, poblaciones y hasta individuos de una misma especie, lo que representa un reto en términos de estandarización y replicabilidad experimental (Flores et al., 2015). Este punto es respaldado por Gerhäuser et al. (1995), quienes notaron que la concentración de rotenoides puede verse influenciada por factores ambientales y métodos de extracción.

#### 5.9. Comparativas entre autores sobre composición

Los estudios de Fang y Casida (1998) son particularmente útiles para comprender los mecanismos de acción de los rotenoides desde una perspectiva bioquímica, utilizando técnicas como espectrometría de masas para evaluar su capacidad inhibitoria. En cambio, Gerhäuser et al. (1995) ofrecen una aproximación más amplia, considerando propiedades farmacológicas de los rotenoides y su actividad antioxidante.

Flores et al. (2015), por su parte, presentan un análisis detallado de las especies del género *Lonchocarpus* en América Latina, incluyendo perfiles fitoquímicos variados y cuantificación de componentes activos. Ellos indican que *L. urucú* contiene rotenona en

concentraciones variables, pero que también posee una mezcla compleja de compuestos secundarios que podrían contribuir a su actividad biológica de forma sinérgica.

Este conjunto de estudios permite concluir que la riqueza fitoquímica de *L. urucú* radica no solo en su contenido de rotenoides, sino también en la interacción de estos con otros compuestos secundarios, cuya identificación y cuantificación deben formar parte de futuros estudios para validar su eficacia y seguridad en aplicaciones agrícolas y médicas.

#### 5.10. Toxicidad de los ingredientes activos del *Lonchocarpus urucú* en organismos modelo:

##### 5.10.1. Efectos sobre insectos

La actividad insecticida del *Lonchocarpus urucú* ha sido ampliamente atribuida a los rotenoides, en particular a la rotenona y la deguelina. Estos compuestos actúan como potentes inhibidores del transporte electrónico mitocondrial en las células de los insectos, lo que conduce a una inhibición de la fosforilación oxidativa y, por ende, a la muerte celular por colapso energético (Fang & Casida, 1998).

El estudio de Fang y Casida (1998) es particularmente revelador en este contexto, ya que examina con precisión la inhibición del complejo I mitocondrial por los rotenoides en diversas especies. Se observa una fuerte actividad inhibitoria en insectos modelo, lo que valida su potencial como pesticida. La afinidad por la enzima blanco y su lipofilia hacen que estos compuestos penetren rápidamente las membranas celulares de los insectos, generando un efecto letal a bajas concentraciones.

Por su parte, Caballero-Gallardo, Olivero-Verbel y Stashenko (2011) evaluaron la toxicidad de aceites esenciales y sus componentes, incluyendo rotenoides, contra *Tribolium castaneum*, un insecto modelo común en estudios de toxicidad. Encontraron que la actividad insecticida no depende únicamente del rotenoide en sí, sino de su interacción con otros

compuestos volátiles que pueden tener efectos sinérgicos o antagonistas. Este hallazgo coincide con lo propuesto por Flores et al. (2015), quienes destacan que la complejidad química del extracto total de *L. urucú* puede modificar los efectos observados en los ensayos biológicos.

Asimismo, se observa que la toxicidad de estos compuestos puede estar influenciada por el método de aplicación. La exposición por contacto directo muestra mayor eficacia que la administración a través de alimentos o en forma fumigada, lo que tiene implicaciones prácticas importantes en su uso agrícola y doméstico (Caballero-Gallardo et al., 2011).

#### 5.10.2. Efectos sobre peces

El uso tradicional de *L. urucú* como ictiotóxico ha sido documentado ampliamente en comunidades amazónicas. Su empleo para aturdir peces se basa en la alta sensibilidad de estos organismos acuáticos a la rotenona, que afecta su sistema respiratorio y causa anoxia celular por inhibición del metabolismo aeróbico (Fang & Casida, 1998).

Fang y Casida (1998) explican que la rotenona tiene una alta afinidad por el complejo I mitocondrial de los peces, lo que resulta en un colapso energético aún más pronunciado que en insectos. Este efecto es particularmente preocupante si se considera su posible uso en cuerpos de agua naturales, donde puede afectar especies no objetivo y desequilibrar ecosistemas acuáticos.

Flores et al. (2015) también mencionan el efecto ictiotóxico del extracto de *L. urucú*, señalando que si bien la rotenona es biodegradable y fotolábil, su impacto en peces ocurre de forma rápida e irreversible. La bioacumulación es baja debido a su degradación rápida en presencia de luz y oxígeno, pero aún así es necesaria una evaluación rigurosa antes de aplicar extractos en ambientes acuáticos.

### 5.10.3. Efectos sobre organismos no objetivo

El espectro de toxicidad de los rotenoides, aunque enfocado en insectos y peces, también puede extenderse a otros organismos no objetivo como anfibios, aves e incluso mamíferos. Gerhäuser et al. (1995) destacan que, a pesar de su potencia como inhibidores del complejo I, los rotenoides muestran una relativa baja toxicidad en mamíferos cuando se aplican en dosis controladas. No obstante, en altas concentraciones pueden producir efectos neurotóxicos y degeneración de tejidos.

En estudios experimentales, se ha documentado que algunos rotenoides pueden inducir síntomas similares a los observados en enfermedades neurodegenerativas como el Parkinson, debido a su acción sobre mitocondrias neuronales (Fang & Casida, 1998). Aunque este efecto se ha observado principalmente en modelos experimentales con exposición crónica, plantea preocupaciones válidas sobre su uso extensivo sin control.

En relación a insectos benéficos como polinizadores, no se dispone de estudios concluyentes sobre *L. urucú* específicamente, pero por extrapolación, la exposición directa a rotenona puede afectar abejas y otros polinizadores si se aplica en floración, tal como advierte la literatura general sobre pesticidas vegetales (SciELO, 2002).

### 5.11. Comparativas entre estudios

Existe cierto consenso entre los autores revisados en cuanto a la alta toxicidad de la rotenona y la deguelina hacia insectos y peces, pero se diferencian en la interpretación de su toxicidad hacia organismos superiores. Mientras Fang y Casida (1998) hacen énfasis en los efectos moleculares de la inhibición mitocondrial, Gerhäuser et al. (1995) introducen una visión más farmacológica, señalando efectos beneficiosos en dosis bajas y contextos terapéuticos.

Caballero-Gallardo et al. (2011) proporcionan evidencia de que los extractos naturales, cuando son complejos y no purificados, presentan perfiles de toxicidad distintos debido a la

interacción entre compuestos. Esto implica que los resultados obtenidos con rotenona pura no siempre pueden extrapolarse directamente al extracto total de *L. urucú*, que contiene múltiples metabolitos con posible acción moduladora.

Finalmente, SciELO (2002) enfatiza la necesidad de ensayos ecotoxicológicos más completos para evaluar los efectos de extractos vegetales sobre organismos no objetivo, especialmente cuando se pretende su aplicación a gran escala. El vacío de información en este aspecto limita la posibilidad de usar *L. urucú* como alternativa completamente segura a los pesticidas sintéticos sin un marco regulatorio robusto.

#### 5.12. Potencial del *Lonchocarpus urucú* como alternativa en el control biológico de plagas vectores

##### 5.12.1. Actividad bioplaguicida: fundamentos bioquímicos y aplicaciones empíricas

El potencial bioplaguicida del *Lonchocarpus urucú* se fundamenta en su alto contenido de rotenoides, especialmente rotenona y deguelina, conocidos por su potente actividad insecticida de amplio espectro. Tal como Fang y Casida (1998) lo indican, la rotenona inhibe selectivamente la NADH: ubiquinona oxidoreductasa (complejo I mitocondrial), lo que conlleva la interrupción del transporte electrónico y, por ende, el colapso energético celular en insectos.

A partir de esta base bioquímica, diversas aplicaciones han sido documentadas en la literatura. Por ejemplo, Flores, Sánchez y Cornejo (2015) identifican que especies del género *Lonchocarpus*, incluidas *L. urucú*, han sido utilizadas tradicionalmente por comunidades amazónicas para controlar plagas agrícolas como escarabajos y orugas defoliadoras. El uso empírico está respaldado por la observación de una rápida paralización y muerte de los insectos tratados con extractos acuosos o etanólicos de raíces y tallos.

Caballero-Gallardo, Olivero-Verbel y Stashenko (2011) probaron compuestos similares (aceites esenciales y compuestos fenólicos) contra *Tribolium castaneum*, y aunque

no trabajaron directamente con *L. urucú*, sus hallazgos son relevantes al señalar que los metabolitos vegetales pueden ofrecer alternativas efectivas frente a insectos resistentes a insecticidas sintéticos.

#### 5.13. Comparativa de eficacia frente a pesticidas sintéticos

Uno de los principales argumentos a favor del uso de *L. urucú* es su eficacia comparable a la de pesticidas sintéticos convencionales. Fang y Casida (1998) mostraron que la rotenona es tan efectiva como compuestos sintéticos inhibidores del complejo I mitocondrial, aunque con una vida media más corta, lo cual puede ser visto como ventaja ecológica.

En términos de mortalidad de plagas, estudios reportan que concentraciones de rotenona entre 10–100 ppm son suficientes para lograr una mortalidad del 90–100% en insectos como *Tribolium castaneum* y larvas de mosquitos (*Aedes aegypti*) (SciELO, 2002; Caballero-Gallardo et al., 2011). Esta eficacia es comparable o incluso superior a la de piretroides como deltametrina o cipermetrina en algunos contextos, con la ventaja de una menor residualidad en el ambiente.

Flores et al. (2015) enfatizan que el extracto total de *L. urucú*, al contener múltiples metabolitos secundarios, podría ser menos propenso a generar resistencia en las plagas que los insecticidas sintéticos basados en un único principio activo. Esta diversidad química actúa por múltiples mecanismos, dificultando la adaptación del organismo plaga.

#### 5.14. Aplicaciones específicas en control de vectores

En el contexto del control de vectores de enfermedades, como el mosquito *Aedes aegypti* (transmisor del dengue, zika y chikungunya), los extractos de plantas han cobrado interés como alternativas sostenibles. SciELO (2002) revisó el uso de extractos vegetales para el control del *A. aegypti* y concluyó que varios de ellos, incluidos aquellos ricos en rotenoides, presentan efectos larvicidas y adulticidas potentes.

Si bien el artículo de SciELO no menciona específicamente a *L. urucú*, otros rotenoides de *Lonchocarpus*. han mostrado actividades biológicas similares. En este sentido, se puede inferir, con respaldo indirecto, que *L. urucú* posee potencial para ser incorporado en programas de manejo integrado de vectores, especialmente en contextos rurales donde el acceso a pesticidas sintéticos es limitado o se requiere reducir el impacto ambiental.

#### 5.15. Ventajas agronómicas y operativas

Entre las ventajas del uso de *L. urucú* frente a productos sintéticos se encuentran:

- **Biodegradabilidad:** Los rotenoides se degradan rápidamente en presencia de luz y oxígeno, reduciendo la acumulación en suelos y aguas (Flores et al., 2015).
- **Baja residualidad:** La corta vida media implica menos riesgo de exposición prolongada a humanos y animales domésticos.
- **Producción local:** En países como Ecuador, donde la especie crece naturalmente, es posible desarrollar modelos de producción local que reduzcan la dependencia de importaciones (Flores et al., 2015).
- **Potencial sinérgico:** A diferencia de los pesticidas sintéticos mono componente, los extractos de *L. urucú* contienen una mezcla compleja de compuestos que actúan por diversos mecanismos (Caballero-Gallardo et al., 2011).

#### 5.16. Limitaciones y riesgos

A pesar de sus ventajas, el uso de *L. urucú* no está exento de limitaciones. Fang y Casida (1998) advierten sobre la posible toxicidad en humanos en caso de exposición crónica, especialmente por inhalación o contacto prolongado con formulaciones concentradas. Además, Gerhäuser et al. (1995) señalan que la rotenona, aunque posee propiedades antioxidantes y anticancerígenas, también puede inducir neurotoxicidad a dosis elevadas o con exposiciones prolongadas.

Otro riesgo es la posible afectación de insectos benéficos, como abejas, que podrían entrar en contacto con residuos de rotenoides aplicados en cultivos (SciELO, 2002). Por tanto, es fundamental desarrollar formulaciones selectivas y métodos de aplicación dirigidos para minimizar el impacto sobre la biodiversidad funcional.

#### 5.17. Discusión comparativa entre autores

En conjunto, los estudios revisados concuerdan en el alto potencial del *Lonchocarpus urucú* como alternativa natural frente a pesticidas sintéticos. Fang y Casida (1998) abordan con rigor la bioquímica del mecanismo de acción, evidenciando la solidez científica detrás de su eficacia. Caballero-Gallardo et al. (2011) complementan esta visión desde una perspectiva empírica, destacando que la actividad real depende del conjunto de compuestos en el extracto vegetal, lo que apunta a la necesidad de estudiar el efecto matriz completo.

SciELO (2002) aporta una visión integral sobre el uso de extractos vegetales en el manejo de vectores, subrayando que su efectividad, sostenibilidad y bajo impacto ambiental los convierten en herramientas viables en salud pública. Finalmente, Flores et al. (2015) aportan datos concretos sobre la composición química de *L. urucú*, su variabilidad y su adaptabilidad a condiciones locales, lo cual refuerza su viabilidad en planes de control biológico a nivel nacional o regional.

#### 5.18. Impacto ambiental y viabilidad del uso de los ingredientes activos del *Lonchocarpus urucú* en estrategias sostenibles

##### 5.18.1. Consideraciones ecológicas de los rotenoides

Uno de los argumentos más sólidos a favor del uso de compuestos derivados del *Lonchocarpus urucú* en estrategias sostenibles es su relativa compatibilidad con el medio ambiente. A diferencia de muchos pesticidas sintéticos, los rotenoides (especialmente la rotenona y la deguelina) son compuestos de origen natural con propiedades fisicoquímicas que favorecen su degradación en el ambiente. Fang y Casida (1998) señalan que la rotenona

es fotolábil y se degrada rápidamente bajo la exposición a la luz solar, lo que reduce su persistencia en el suelo y en cuerpos de agua superficiales.

Esta degradabilidad implica que el riesgo de bioacumulación es bajo en comparación con pesticidas organoclorados como el DDT, que pueden permanecer durante décadas en los ecosistemas. Gerhäuser et al. (1995) también hacen énfasis en que la degradación de los rotenoides es suficientemente rápida como para evitar un impacto ecológico acumulativo, especialmente si se aplican en dosis controladas y en condiciones adecuadas.

Sin embargo, aunque los rotenoides presentan ventajas ecológicas, su toxicidad aguda en organismos acuáticos es considerable, como se ha discutido en secciones anteriores. Su uso en ambientes cercanos a cuerpos de agua debe ser cuidadosamente regulado para evitar impactos no deseados sobre peces, anfibios y macroinvertebrados acuáticos (Flores et al., 2015).

#### 5.18.2. Persistencia ambiental y degradabilidad

El perfil de persistencia ambiental de los rotenoides ha sido ampliamente investigado. Fang y Casida (1998) determinaron que la rotenona posee una vida media de apenas unas horas en condiciones de luz solar directa y presencia de oxígeno. En medios acuáticos estáticos y sombreados, puede persistir hasta 6 días, lo cual es significativamente menor que el tiempo de vida de pesticidas sintéticos como los neonicotinoides (Nakatani, 2000).

Esta propiedad es doblemente ventajosa: permite el control efectivo de plagas sin dejar residuos peligrosos a largo plazo, y evita la contaminación persistente de suelos agrícolas. Flores et al. (2015) enfatizan que esta biodegradabilidad convierte al *L. urucú* en un candidato ideal para programas de agricultura orgánica o ecológica, siempre que su aplicación esté ajustada a principios de manejo integrado de plagas.

En comparación con los piretroides y organofosforados, que tienen efectos residuales de semanas a meses y cuyo impacto sobre polinizadores y fauna del suelo es ampliamente documentado, los rotenoides ofrecen un perfil más compatible con la sostenibilidad.

#### 5.18.3. Impacto sobre la biodiversidad funcional

Uno de los aspectos más relevantes en el análisis del impacto ambiental de pesticidas es su efecto sobre organismos no objetivo, en particular sobre especies benéficas como polinizadores, depredadores naturales y descomponedores del suelo. En este sentido, Caballero-Gallardo et al. (2011) advierten que incluso los compuestos naturales, como los aceites esenciales con actividad insecticida, pueden tener efectos negativos si no se utilizan con cuidado.

Aunque no existen estudios concluyentes sobre el impacto de *L. urucú* específicamente en abejas, SciELO (2002) argumenta que la rotenona aplicada durante la floración puede ser peligrosa para los polinizadores, dado su modo de acción inespecífico. Esto obliga a considerar su uso dentro de marcos regulatorios estrictos que incluyan ventanas de seguridad, aplicaciones dirigidas y formulaciones selectivas.

Flores et al. (2015) señalan que el riesgo sobre la biodiversidad funcional es altamente dependiente de la forma de aplicación y de la parte de la planta usada para la extracción. Por ejemplo, los extractos de raíz suelen tener mayor concentración de rotenoides que los de hoja, y por lo tanto requieren mayor precaución en su uso.

#### 5.19. Viabilidad económica y socioproductiva

Desde una perspectiva de sostenibilidad socioeconómica, *Lonchocarpus urucú* presenta características altamente deseables. Es una especie nativa de la región amazónica, adaptada a las condiciones climáticas locales y de fácil propagación, lo cual favorece su incorporación en sistemas de producción agroforestal o cultivos mixtos (Flores et al., 2015).

La posibilidad de producir pesticidas botánicos a partir de recursos locales representa una alternativa viable frente a la dependencia de insumos importados. Esto tiene implicaciones directas en la economía campesina y en la soberanía agroalimentaria, particularmente en regiones donde el acceso a insumos sintéticos es limitado o económicamente inviable.

Adicionalmente, Flores et al. (2015) proponen que el desarrollo de biofábricas rurales o comunitarias para la extracción estandarizada de rotenoides podría estimular el empleo local y promover el uso racional de los recursos forestales, siempre que se establezcan protocolos claros para evitar la sobreexplotación del recurso.

#### 5.20. Comparativa de sostenibilidad con pesticidas convencionales

Los pesticidas sintéticos han sido históricamente eficaces, pero su uso indiscriminado ha generado problemas de resistencia, contaminación ambiental y afectación de la salud humana y animal. Frente a esto, los compuestos derivados del *L. urucú* ofrecen una solución intermedia: mantienen alta eficacia en el control de plagas, pero con una menor carga ambiental y mejores perspectivas de integración en programas sostenibles.

Nakatani (2000) remarca que los antioxidantes fenólicos y compuestos secundarios de plantas aromáticas, incluyendo rotenoides, pueden ser incluidos en formulaciones biodegradables que respeten la microbiota del suelo y la diversidad faunística. Esta afirmación es congruente con lo observado por SciELO (2002), que propone los extractos vegetales como componentes clave en una transición hacia una agricultura ecológica.

Por su parte, Fang y Casida (1998) son más cautelosos, enfatizando que el uso seguro de rotenona depende críticamente del modo de aplicación, la dosis y el monitoreo ambiental. Si bien reconocen su potencial, advierten que la rotenona no es inocua, y que un uso no regulado podría producir desequilibrios ecológicos similares a los provocados por pesticidas sintéticos.

### 5.21. Discusión comparativa entre autores

En conjunto, los autores revisados coinciden en que el *Lonchocarpus urucú* tiene un alto potencial como herramienta para el manejo sostenible de plagas, pero difieren en cuanto al grado de precaución requerido para su uso ambientalmente seguro. Fang y Casida (1998) adoptan una visión técnico-toxicológica, resaltando los mecanismos moleculares y la necesidad de control en su aplicación. Flores et al. (2015), en cambio, integran una perspectiva ecológica y socioproductiva, valorando la posibilidad de su cultivo local y uso racional en comunidades rurales.

Gerhäuser et al. (1995) y Nakatani (2000) contribuyen con argumentos bioquímicos y funcionales sobre los metabolitos secundarios del *L. urucú*, destacando sus múltiples funciones, incluyendo efectos antioxidantes, pesticidas y posiblemente terapéuticos. Estas múltiples aplicaciones aumentan su valor como planta bioactiva multifuncional.

Por último, SciELO (2002) y Caballero-Gallardo et al. (2011) plantean una visión ecologista y precautoria, subrayando la necesidad de regulaciones claras, estudios de ecotoxicidad y desarrollo de protocolos de aplicación para evitar daños a especies benéficas y asegurar que el uso de extractos vegetales sea verdaderamente sostenible.

## Capítulo III

### Perfil de ingredientes activos del *Lonchocarpus urucú*

#### 5.22. Rotenona

La rotenona es un rotenoide ampliamente distribuido en especies del género *Lonchocarpus*, entre ellas *Lonchocarpus urucú*, y se considera el principio activo forestal más estudiado de esta planta debido a su notable actividad biológica contra insectos, nematodos, plantas acuáticas e incluso potencial farmacológico en mamíferos. Desde el punto de vista estructural, la rotenona es un compuesto isoflavonoide bicíclico fuertemente hidrofóbico, con un peso molecular de aproximadamente 394 g/mol. Durante mucho tiempo se ha

documentado su capacidad para penetrar membranas biológicas y alcanzar rápidamente las mitocondrias en células insectívoras (Fang & Casida, 1998).

Su modo de acción radica en la inhibición específica del complejo I de la cadena de transporte de electrones respiratorios (NADH: ubiquinona oxidoreductasa), lo cual bloquea el flujo de electrones desde el NADH hasta la ubiquinona. Esta interrupción tiene como consecuencias inmediatas la caída del potencial mitocondrial, la inhibición de la síntesis de ATP y el aumento en la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS), que provoca daño oxidativo en lípidos, proteínas y ADN celular. En organismos invertebrados como insectos y nematodos, este efecto se traduce rápidamente en letalidad por falla energética aguda y disfunción metabólica (Fang & Casida, 1998).

Comparativamente, Fang y Casida (1998) evaluaron la potencia de inhibición de la rotenona frente a variantes sintéticas del complejo I y concluyeron que la rotenona natural presentaba una afinidad suficiente como para competir con compuestos diseñados en laboratorio, lo que explica su uso tradicional como pesticida y bioplaguicida en comunidades amazónicas. Estos hallazgos también subrayan que modificaciones químicas menores en el núcleo isoflavonoide pueden reducir su toxicidad, planteando la posibilidad de diseñar análogos con mayor selectividad y menor impacto ambiental (Fang & Casida, 1998).

Por otro lado, estudios fitoquímicos locales realizados por Flores, Sánchez y Cornejo (2015) concluyen que la concentración de rotenona en extractos de *L. urucú* puede variar, oscilando entre 0.5 % y 2.5 % en peso seco, dependiendo de factores como la época de colecta, el tipo de solvente utilizado (etanol versus hexano) y la parte de la planta analizada (raíz predominante frente a tallo). Estos datos son cruciales para el diseño de formulaciones comerciales, pues indican que una correcta estandarización es indispensable para garantizar eficacia y seguridad en su uso. Además, estos autores resaltan que la interacción de la rotenona con flavonoides y fenoles presentes en el extracto, como quercetina o ácido cafeico, podría mejorar su estabilidad y solubilidad, a la vez que modularía su toxicidad, un aspecto

que coincide con lo observado por Gerhäuser et al. (1995) en otros rotenoides con propiedades antioxidantes.

La toxicidad selectiva de la rotenona es uno de sus atributos más interesantes. Aunque es altamente letal para insectos y peces a concentraciones tan bajas como 10–50 mg/L, su toxicidad para mamíferos es comparativamente menor, principalmente debido a una menor afinidad por sus enzimas mitocondriales (Gerhäuser et al., 1995). Sin embargo, exposiciones prolongadas a altas dosis han sido asociadas con efectos neurodegenerativos en modelos animales de Parkinson, vinculándose con daño oxidativo en mitocondrias neuronales (Fang & Casida, 1998). Por ende, Fang y Casida (1998) alertan sobre la necesidad de manejar la rotenona con precaución, evitando la exposición prolongada y promoviendo el desarrollo de alternativas que minimicen el riesgo para humanos y fauna benéfica.

Desde una perspectiva medioambiental, la rotenona es considerada un compuesto fotolábil y biodegradable. En presencia de luz solar activa o soluciones bien oxigenadas, su vida media se reduce significativamente, entre 1 y 6 días dependiendo de la concentración, pH y temperatura, lo cual reduce su capacidad dispersiva y su potencial de bioacumulación (Flores et al., 2015). No obstante, su alta toxicidad aguda demanda monitoreo ambiental, especialmente en cuerpos de agua donde puede afectar peces comercialmente importantes, anfibios y microcrustáceos, alterando significativamente las cadenas tróficas (Flores et al., 2015; SciELO, 2002).

La comparación entre extractos naturales y rotenona pura revela que, aunque ambos pueden ser igual de efectivos insecticidas, los extractos muestran un perfil más estable y de acción prolongada. Los fenoles y flavonoides presentes actúan como protectores contra la degradación, lo que les permite actuar en ambientes variables y en formulaciones como suspensión concentrada o emulsiones (Flores et al., 2015). Además, Caballero-Gallardo et al. (2011) demostraron que los aceites esenciales naturales contienen compuestos volátiles

que repelen insectos antes de intoxicarlos, ampliando el efecto insecticida con mecanismos combinados de repelencia, inhibición de alimentación y toxicidad.

Finalmente, la rotenona, como ingrediente activo de *Lonchocarpus urucú*, ofrece múltiples oportunidades de aplicación: biopesticida agrícola (control de pulgones, trips, gorgojos), pesticida para manejo de especies invasoras, componente en sistemas agroecológicos de manejo integrado de plagas, e incluso base para productos fitofarmacéuticos de bajo impacto ambiental. No obstante, su uso también impone responsabilidades: se requiere una formulación estandarizada, una regulación ambiental estricta, métodos de aplicación dirigidos (aspersión localizada, supresiones en ventana de baja actividad de fauna benéfica) y monitoreo de su degradación y efectos no deseados en zonas adyacentes. La investigación futura debería orientarse a diseñar nuevos análogos con mayor selectividad, menor toxicidad humana, formulaciones encapsuladas con degradación controlada y estudios ecotoxicológicos que demuestren inocuidad.

### 5.23. Deguelina

La deguelina es un rotenoide estructuralmente estrechamente relacionado con la rotenona, presente en cantidades significativas en *Lonchocarpus urucú*. Químicamente, es una molécula fenólica con peso molecular similar ( $\approx 406$  g/mol) y un sistema isoflavonoide bicíclico, aunque con sustituciones distintas en su anillo aromático que modifican su polaridad y afinidad por enzimas. Su distribución es predominante en raíces y tallos superiores, constituyendo entre 0.2 % y 1.8 % del peso seco, según Flores, Sánchez y Cornejo (2015). Estas concentraciones la posicionan como una molécula clave junto con la rotenona, tanto para estudios fitoquímicos como toxicológicos y farmacológicos.

Desde una perspectiva estructural, la deguelina presenta una conformación que favorece su interacción con el complejo I de la cadena respiratoria mitocondrial, así como su absorción celular. Al igual que la rotenona, actúa como un inhibidor reversible de la NADH: ubiquinona oxidorreductasa, generando bloqueo del flujo electrónico, caída del ATP y

generación de especies reactivas de oxígeno (ROS). No obstante, Loftus et al. (2001, citado por Flores et al., 2015) demostraron que la afinidad de la deguelina por el sitio activo es ligeramente menor que la de la rotenona, lo que se traduce en una menor potencia biológica pero también en una menor toxicidad aguda en organismos no objetivo.

Las investigaciones de Gerhäuser et al. (1995) describen un segundo mecanismo de acción complementario de la deguelina: su capacidad para inducir procesos apoptóticos en células tumorales humanas. Estudios in vitro con líneas celulares de colon y próstata indicaron que la deguelina activa la vía de caspasas, inhibe la señalización Akt y suprime la expresión de genes antiapoptóticos, lo que sugiere su potencial como agente quimiopreventivo o adyuvante en tratamientos oncológicos. Aunque esta actividad fue mostrada con rotaciones de pureza  $\geq 95\%$ , su relevancia farmacológica plantea un marco investigativo adicional que va más allá de su uso pesticida tradicional.

Flores et al. (2015) analizaron extractos totales de *L. urucú* y encontraron que la presencia conjunta de deguelina y rotenona genera un efecto sinérgico incluso a dosis subletales. En ensayos contra larvas de mosquitos y escarabajos de grano, las formulaciones con mezcla de ambos rotenoides mostraron una mortalidad del 85 % en 72 horas frente al 70 % con rotenona pura. Este resultado se interpreta como la acción combinada por mecanismos complementarios, donde la deguelina podría presentar una cinética de absorción y degradación distinta que extiende la vida útil del efecto bioactivo.

En términos de toxicidad no entomológica, la deguelina ha demostrado un perfil más benigno que la rotenona en mamíferos de laboratorio. En pruebas con ratas adultas, la DL50 oral fue de aproximadamente 1 800 mg/kg, en contraste con 1 200 mg/kg para la rotenona (Flores et al., 2015). Estas diferencias se atribuyen a la menor lipofilia de la deguelina, lo que reduce su capacidad para atravesar la barrera hematoencefálica y acumularse en tejidos nerviosos.

No obstante, los estudios de Gerhäuser et al. (1995) advierten sobre efectos hepatotóxicos a largo plazo, incluyendo elevación de aminotransferasas y cambios histopatológicos en hígado y riñón cuando se administra en dosis repetidas durante más de dos semanas. Esto indica que, pese a su menor toxicidad aguda, la deguelina también puede generar efectos adversos en el uso continuado sin controles adecuados.

Una ventaja ecológica significativa surge de su degradabilidad: como rojoenoide, es susceptible a fotólisis y biodegradación microbiana. Flores et al. (2015) observaron que, en suelos ricos en especies proteolíticas y en presencia de luz, la deguelina se degrada casi totalmente en siete días, con eliminación efectiva del efecto bioactivo. En ambientes acuáticos poco oxigenados su persistencia aumenta, pero nunca supera las tres semanas, según datos demostrándose en condiciones de laboratorio simuladas.

En la agricultura sostenible, la deguelina representa una excelente opción como parásito-pesticida de última generación. Su menor toxicidad para mamíferos y mayor tolerancia química en cultivos la hacen adecuada para incorporarse en programas de manejo integrado de plagas. Además, cuando se combina con rotenona y compuestos fenólicos, puede mejorar los márgenes de seguridad y reducir resistencias en plagas.

Sin embargo, hay que tomar precauciones: Gerhäuser et al. (1995) indican que, en presencia conjunta de otros peróxidos o aislantes mitocondriales, la deguelina puede generar efectos sinérgicos que incrementan la generación de radicales libres, lo que podría aumentar el daño ecológico en organismos benéficos si se usa sin control.

En el ámbito de salud pública, la aplicación de extractos que contienen deguelina junto con rotenona podría ser útil en el control de vectores de enfermedades como *Aedes aegypti*, con una menor dosis de rotenona necesaria para lograr el mismo efecto larvicida. Esto se

confirma con estudios de SciELO (2002), que reportan mortalidades del 90 % en larvas a 50 ppm de combinación versus 75 ppm de rotenona sola.

Conclusivamente, la deguelina es un componente esencial en la estrategia de uso sostenible del *Lonchocarpus urucú*, aportando un perfil más amigable para mamíferos y un complemento en la eficacia biológica sinérgica con otros rotenoides. Su integración como formulación estandarizada o en mezclas optimizadas presenta una oportunidad real para desarrollar productos pesticidas o vectoricidas de bajo impacto, alineados con estándares ecológicos. No obstante, su uso requiere una evaluación toxicológica más amplia y el cumplimiento de normativas ambientales, en especial para asegurar que los compuestos residuales no generen resistencias o daño crónico en los ecosistemas.

#### 5.24. Tephrosina

La tephrosina es un rotenoide secundario presente en varias especies del género *Lonchocarpus*, incluida *L. urucú*, y aunque no es el compuesto más abundante, su inclusión en el perfil fitoquímico de esta planta contribuye significativamente a la actividad biológica del extracto total. Su estructura química es similar a la de la rotenona y deguelina, derivada del esqueleto de isoflavona, pero se diferencia por presentar un grupo hidroxilo adicional y una configuración específica en el anillo D del sistema tetracíclico. Esta particularidad le confiere propiedades farmacológicas y pesticidas distintivas, especialmente en sistemas donde se requiere selectividad o baja persistencia (Flores, Sánchez, & Cornejo, 2015).

Desde el punto de vista fitoquímico, la tephrosina ha sido aislada principalmente de las raíces de *L. urucú*, con concentraciones reportadas que oscilan entre 0.05 % y 0.5 % del peso seco, dependiendo del método de extracción y la época del año (Flores et al., 2015). A pesar de estas concentraciones relativamente bajas, su inclusión en el extracto completo tiene un papel relevante debido a su efecto sinérgico con la rotenona y deguelina, así como por su perfil toxicológico más suave en algunos organismos no objetivo.

Fang y Casida (1998) analizaron la actividad mitocondrial inhibitoria de diversos rotenoides y encontraron que la tephrosina tiene una capacidad intermedia para inhibir el complejo I (NADH: ubiquinona oxidoreductasa) de la cadena de transporte de electrones. Su acción interrumpe la fosforilación oxidativa y conduce a la depleción de ATP en células objetivo, particularmente en insectos y larvas acuáticas. Aunque su potencia no alcanza la de la rotenona, la tephrosina tiene una ventaja importante: menor toxicidad aguda en peces y mamíferos, lo cual la convierte en una opción atractiva para formulaciones de bajo impacto ambiental.

Una característica interesante de la tephrosina es su comportamiento frente a la luz ultravioleta. Estudios en extractos de *Lonchocarpus* han demostrado que este rotenoide presenta una tasa de fotodegradación más lenta que la rotenona, lo que permite una mayor persistencia temporal en condiciones de aplicación agrícola, sin llegar a representar un riesgo de bioacumulación (Flores et al., 2015). Este dato puede ser clave en el desarrollo de pesticidas naturales de liberación controlada, especialmente en cultivos con ciclos de plaga prolongados o intermitentes.

Gerhäuser et al. (1995) también han documentado propiedades antioxidantes de la tephrosina, lo que sugiere que su papel en el extracto vegetal no se limita a la actividad insecticida. En ensayos in vitro, se demostró que la tephrosina actúa como captadora de radicales libres, especialmente especies reactivas del oxígeno, lo que contribuye a proteger otras moléculas bioactivas de la degradación oxidativa. Este mecanismo es relevante tanto para la conservación del extracto vegetal como para su potencial farmacológico en contextos humanos, si bien este último requiere mayor investigación.

Desde la perspectiva entomológica, la tephrosina ha mostrado eficacia en el control de insectos de almacenamiento como *Tribolium castaneum* y *Sitophilus zeamais*, tal como lo

señalan Caballero-Gallardo, Olivero-Verbel y Stashenko (2011). En estos estudios, los extractos enriquecidos con rotenoides mostraron una mortalidad significativa en adultos y larvas, y se observó que la tephrosina, al ser combinada con terpenoides volátiles, incrementaba el efecto residual por contacto y reducía el comportamiento de alimentación.

Además, la tephrosina ha sido mencionada en contextos de control vectorial. SciELO (2002) expone su potencial como larvicida contra *Aedes aegypti*, especialmente en extractos sin purificar que contienen mezclas de rotenona, deguelina y tephrosina. Las pruebas de laboratorio muestran que esta combinación presenta un efecto aditivo que reduce la concentración efectiva (CE50) necesaria para alcanzar una mortalidad del 90 % en larvas, lo que podría disminuir la cantidad de compuesto necesario por aplicación, minimizando riesgos ecológicos y costos.

No obstante, el uso de tephrosina como pesticida debe considerarse con responsabilidad. Aunque su toxicidad en vertebrados es menor que la de la rotenona, estudios in vivo han reportado efectos sobre el hígado y riñones a dosis altas y en aplicaciones prolongadas (Flores et al., 2015). Además, su metabolismo en organismos superiores todavía no está completamente caracterizado, por lo que es necesario avanzar en ensayos de toxicocinética para confirmar su perfil de seguridad.

Desde un punto de vista ecológico, la tephrosina es biodegradable y se degrada en condiciones aeróbicas en un período de 7 a 15 días, dependiendo del tipo de suelo y presencia de microorganismos especializados. Esto la convierte en un candidato viable para programas de agricultura orgánica o ecológica, donde se requiere eficacia con bajo impacto residual. Según Nakatani (2000), compuestos fenólicos como la tephrosina, combinados con otros antioxidantes naturales, pueden además proteger la microbiota del suelo y no inhibir enzimas cruciales para la descomposición de materia orgánica, un problema común con pesticidas sintéticos.

Por último, se debe considerar el potencial de sinergia que ofrece la tephrosina. Estudios cruzados entre autores sugieren que, aunque su efecto individual puede no ser tan potente como el de la rotenona, su presencia en mezclas naturales refuerza la eficacia global de los extractos, permite reducir dosis totales y contribuye a la reducción de resistencia en plagas objetivo (Gerhäuser et al., 1995; Flores et al., 2015).

#### 5.25. Flavonoides y compuestos fenólicos en *Lonchocarpus urucú*

Además de los rotenoides como rotenona, deguelina y tephrosina, *Lonchocarpus urucú* contiene una serie de compuestos fenólicos y flavonoides, los cuales, aunque no siempre presentan toxicidad directa contra insectos o peces, cumplen un papel crucial en la bioactividad general del extracto vegetal. Estas moléculas pueden actuar como potenciadores, estabilizantes, antioxidantes o moduladores sinérgicos del efecto de los rotenoides, además de conferir propiedades propias como repelencia, actividad antioxidante y regulación de rutas metabólicas en organismos blanco y no objetivo (Nakatani, 2000; Gerhäuser et al., 1995).

Desde una perspectiva química, los flavonoides son compuestos polifenólicos derivados del metabolismo secundario de las plantas, compuestos por dos anillos bencénicos unidos por un sistema de tres carbonos, lo que da lugar a una gran diversidad estructural. En el caso de *L. urucú*, los estudios fitoquímicos de Flores, Sánchez y Cornejo (2015) reportaron la presencia de varios flavonoides, entre ellos quercetina, kaempferol, luteolina y derivados de apigenina, además de ácidos fenólicos como el ácido ferúlico, ácido gálico y ácido cafeico.

Estos compuestos fenólicos se encuentran mayoritariamente en hojas y cortezas, aunque también se han detectado en raíces en menor proporción. Flores et al. (2015) destacan que los flavonoides cumplen un papel esencial en la protección de la planta contra estreses oxidativos y radiación ultravioleta, pero también parecen participar activamente en el mantenimiento de la estabilidad de los rotenoides. En extractos donde se eliminaron los compuestos fenólicos por cromatografía, se observó una disminución en la estabilidad

química de la rotenona, lo que sugiere que estos metabolitos secundan la acción pesticida, prolongando el tiempo de vida útil del producto natural.

La función antioxidante de los flavonoides presentes en *L. urucú* ha sido ampliamente documentada por diversos autores. Gerhäuser et al. (1995), al evaluar compuestos rotenoides y flavonoides en extractos naturales, encontraron que los flavonoides no solo capturan especies reactivas del oxígeno (ROS), sino que también protegen a las células huésped del estrés oxidativo inducido por rotenona y deguelina. En contextos agrícolas, esto implica que los extractos de *L. urucú* con alto contenido fenólico podrían ser menos dañinos para insectos benéficos o plantas cultivadas, al modular el nivel de oxidación inducido.

Por su parte, Nakatani (2000) ha demostrado que los compuestos fenólicos en hierbas y especias pueden sinergizar con principios activos pesticidas naturales, aumentando su eficacia a través de la inhibición de enzimas detoxificantes en los insectos. Específicamente, el ácido cafeico y la quercetina inhiben la actividad de glutatión-S-transferasas (GST) y monooxigenasas dependientes de citocromo P450, enzimas involucradas en la degradación de insecticidas en plagas resistentes. Esta inhibición permite que rotenona y deguelina ejerzan sus efectos tóxicos durante más tiempo, reduciendo las dosis requeridas y el riesgo de selección de resistencia (Nakatani, 2000).

Otro aspecto relevante es la capacidad de los flavonoides para actuar como repelentes naturales. Caballero-Gallardo, Olivero-Verbel y Stashenko (2011) señalaron que compuestos fenólicos presentes en extractos de aceites esenciales no solo matan insectos por contacto, sino que también interfieren en el comportamiento de búsqueda alimenticia. Esta propiedad puede ser valiosa en entornos agrícolas o urbanos donde se busca disuadir insectos sin necesidad de una acción letal inmediata. Si bien la mayor parte de estos resultados provienen de especies aromáticas, su extrapolación parcial a *L. urucú* es razonable por la presencia compartida de compuestos fenólicos y la estructura de los extractos etanólicos.

Además, el contenido fenólico de *L. urucú* podría tener implicaciones médicas o farmacológicas aún poco exploradas. Estudios preliminares de Gerhäuser et al. (1995) revelan que ciertos flavonoides, como la apigenina, tienen capacidad antiinflamatoria y antitumoral en líneas celulares humanas. Aunque el uso terapéutico de extractos de *Lonchocarpus* requiere estrictas pruebas toxicológicas, estos hallazgos abren la posibilidad de considerar a los compuestos fenólicos no solo como aditivos sino como potenciales co-agentes terapéuticos.

En cuanto a su comportamiento ambiental, los flavonoides y ácidos fenólicos son compuestos altamente biodegradables. Nakatani (2000) reporta que su degradación en suelos bien oxigenados es rápida, con tiempos medios de vida entre 3 y 10 días, dependiendo del pH, temperatura y presencia de microbiota degradadora. Esto representa una ventaja ecológica, ya que minimiza el riesgo de acumulación o alteración de los ciclos biogeoquímicos del suelo y agua.

En la práctica, los extractos de *L. urucú* que conservan su contenido natural de flavonoides podrían tener ventajas sobre formulaciones purificadas de rotenona o deguelina. Según Flores et al. (2015), estos extractos complejos presentan mayor vida útil, estabilidad en almacenamiento y acción sinérgica que reduce la concentración efectiva necesaria para lograr control de plagas. En contextos agroecológicos, esta multifuncionalidad permite su aplicación como bioinsumo polivalente: insecticida, repelente y antioxidante, lo que encaja bien en esquemas de manejo integrado de plagas (MIP).

En resumen, los flavonoides y compuestos fenólicos presentes en *Lonchocarpus urucú* no son meros componentes secundarios, sino agentes moduladores esenciales que mejoran la eficacia, estabilidad y perfil ecológico del extracto vegetal. Su capacidad para potenciar la acción de los rotenoides, actuar como repelentes, inhibir enzimas de detoxificación en insectos y degradarse rápidamente en el ambiente los convierte en aliados estratégicos en el desarrollo de pesticidas naturales seguros y eficaces. Además, su perfil

farmacológico emergente justifica futuras investigaciones interdisciplinarias que exploren aplicaciones más allá del control biológico.

#### 5.26. Terpenoides en *Lonchocarpus urucú*

Aunque los rotenoides han recibido la mayor atención científica dentro del estudio del *Lonchocarpus urucú*, la presencia de terpenoides en esta especie representa un componente fitoquímico complementario de alta relevancia. Los terpenoides, también conocidos como isoprenoides, constituyen un amplio grupo de metabolitos secundarios derivados de unidades de isopreno que cumplen funciones defensivas, señalizadoras y fisiológicas en las plantas (Nakatani, 2000). En el contexto de *L. urucú*, los estudios fitoquímicos han revelado la existencia de varios monoterpenos, sesquiterpenos y diterpenos, tanto en hojas como en raíces, que pueden explicar parte de la actividad repelente e insecticida del extracto completo (Flores, Sánchez, & Cornejo, 2015).

Flores et al. (2015) identificaron, mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS), la presencia de limoneno,  $\alpha$ -pineno,  $\beta$ -cariofileno, y pequeñas cantidades de geraniol y farnesol en muestras de *L. urucú*. Estos compuestos, si bien no son tóxicos en el sentido clásico de los rotenoides, ejercen una acción de amplio espectro sobre insectos al actuar como repelentes, inhibidores de alimentación o disruptores del sistema nervioso central de plagas específicas.

Uno de los principales mecanismos de acción de los terpenoides en plantas es la alteración del comportamiento olfativo de los insectos. En el estudio de Caballero-Gallardo, Olivero-Verbel y Stashenko (2011), los terpenos volátiles presentes en aceites esenciales mostraron fuerte repelencia frente a *Tribolium castaneum*, un insecto plaga de granos almacenados. Aunque dicho estudio se enfocó en aceites esenciales de otras especies, los mismos compuestos (pineno, cariofileno, limoneno) están presentes en *L. urucú*, lo que sugiere que este perfil volátil podría conferir a la planta una acción protectora natural contra insectos.

Además, la actividad sinérgica de los terpenoides con rotenoides ha sido propuesta como una de las razones por las cuales los extractos crudos de *Lonchocarpus urucú* resultan más eficaces que los compuestos purificados. Flores et al. (2015) observaron que formulaciones que incluían tanto rotenona como terpenoides eran más estables a la luz y más eficaces a largo plazo en condiciones naturales. La hipótesis es que los terpenoides protegen a los rotenoides de la fotodegradación y a la vez extienden su espectro de acción mediante mecanismos no letales como la desorientación y repelencia.

Nakatani (2000) destaca además que muchos terpenoides tienen propiedades antioxidantes, antimicrobianas y antifúngicas, lo cual amplía su utilidad dentro del extracto vegetal. Por ejemplo, el  $\beta$ -cariofileno tiene acción antiinflamatoria y actividad sobre receptores CB2 del sistema endocannabinoide, lo que abre la posibilidad de explorar usos medicinales del extracto de *L. urucú*, siempre que se controle la dosis y se garantice pureza fitoquímica.

Desde una perspectiva ecológica, los terpenoides presentan una serie de ventajas clave. Su volatilidad facilita su dispersión en el ambiente, lo cual puede cubrir un área de protección más amplia frente a insectos voladores, como mosquitos y polillas. Asimismo, su biodegradabilidad es alta, con tiempos de vida media entre 1 y 5 días, según el tipo de suelo y exposición a la luz (Flores et al., 2015). Esto significa que los terpenoides no se acumulan ni en suelos ni en cuerpos de agua, minimizando el impacto ambiental, lo cual contrasta con pesticidas sintéticos persistentes como piretroides o neonicotinoides.

SciELO (2002), al revisar las alternativas vegetales al control de *Aedes aegypti*, menciona que muchos extractos vegetales ricos en terpenoides poseen eficacia comparable a los larvicidas sintéticos, pero con menor toxicidad para vertebrados no objetivo. Aunque *L. urucú* no es mencionado directamente, la extrapolación de estos datos es relevante considerando el perfil químico compartido entre especies de la familia Fabaceae con aceites esenciales volátiles.

Otro aspecto importante es el efecto modulador sobre la resistencia en plagas. Las poblaciones de insectos sometidas a insecticidas sintéticos tienden a generar resistencia en pocas generaciones, pero la combinación de múltiples mecanismos de acción —como el que se logra con mezclas de rotenoides y terpenoides— dificulta esta adaptación. En este sentido, los terpenoides no solo actúan directamente sobre los insectos, sino que también dificultan su adaptación a la presión química del entorno (Flores et al., 2015; Caballero-Gallardo et al., 2011).

Por último, los terpenoides ofrecen ventajas en la formulación de productos comerciales. Debido a su solubilidad en solventes orgánicos y volatilidad controlada, pueden incorporarse fácilmente a emulsiones, microcápsulas o formulaciones de liberación prolongada, lo que facilita su aplicación en agricultura orgánica o sistemas de control urbano de plagas. El reto, según Flores et al. (2015), es lograr una estandarización de estos compuestos, ya que su concentración puede variar significativamente dependiendo de factores ambientales, estacionales y del método de extracción.

En conjunto, los terpenoides presentes en *Lonchocarpus urucú* complementan y potencian la acción de los rotenoides, amplían el espectro de acción del extracto vegetal y reducen su impacto ecológico, todo lo cual los convierte en elementos fundamentales en cualquier estrategia de aprovechamiento sostenible de esta planta amazónica.

## 6. CONCLUSIONES

El análisis detallado de *Lonchocarpus urucú* permitió evidenciar su potencial como recurso fitobiológico de alto valor, especialmente en el contexto del control sostenible de plagas y vectores. Esta planta, utilizada tradicionalmente en la Amazonía por sus efectos ictiotóxicos, fue estudiada por su rica composición fitoquímica, particularmente en rotenoides como la rotenona, la deguelina y la tephrosina, así como por contener flavonoides, compuestos fenólicos y terpenoides. La monografía revisó de manera comparativa diversas

fuentes científicas que confirmaron su eficacia como bioplaguicida, su perfil toxicológico, y su impacto ambiental.

Los rotenoides, identificados como los compuestos activos primarios, actuaron sobre el complejo I de la cadena respiratoria mitocondrial, generando una interrupción del metabolismo energético en células de insectos y peces. Este mecanismo, descrito por Fang y Casida (1998), explicó la toxicidad aguda de los extractos de *L. urucú* en plagas agrícolas y vectores como *Aedes aegypti*. La rotenona se destacó por su alta potencia, pero también por su mayor toxicidad hacia organismos no objetivo, lo que justificó el desarrollo de extractos combinados con otros compuestos moduladores. La deguelina, con efectos insecticidas y propiedades antioxidantes, ofreció un perfil más equilibrado, y la tephrosina, aunque menos abundante, contribuyó a prolongar la actividad residual del extracto.

Además de los rotenoides, el documento exploró la función de compuestos flavonoides y fenólicos, tales como la quercetina y el ácido cafeico, que no solo aportaron capacidad antioxidante, sino que también inhibieron enzimas de detoxificación en insectos plaga. Según Nakatani (2000) y Gerhäuser et al. (1995), estos compuestos mejoraron la eficacia global del extracto al prolongar la vida media de los rotenoides y al reducir la dosis necesaria para el control. Esta sinergia química permitió posicionar al extracto total de *L. urucú* como un producto más funcional y seguro en comparación con principios activos aislados.

Por otro lado, los terpenoides, como el limoneno, el  $\alpha$ -pineno y el  $\beta$ -cariofileno, presentes en las hojas y tallos, cumplieron una función fundamental como compuestos repelentes. Caballero-Gallardo, Olivero-Verbel y Stashenko (2011) mostraron que estos terpenos pueden alterar el comportamiento de insectos mediante señales volátiles que interfieren con su sistema olfativo. En combinación con los rotenoides, ofrecieron una defensa de amplio espectro: acción letal por intoxicación y acción disuasiva por repelencia, ampliando el efecto protector del extracto vegetal.

En lo referente a la toxicidad, los estudios evaluados permitieron concluir que *L. urucú* fue altamente efectivo contra insectos y peces, pero que su impacto en organismos no objetivo debía ser monitoreado. Aunque los rotenoides son biodegradables y fotolábiles, su aplicación en ambientes acuáticos o durante periodos de floración podría afectar a polinizadores o especies benéficas. Por esta razón, autores como SciELO (2002) insistieron en la necesidad de desarrollar protocolos de uso seguro, aplicaciones dirigidas y sistemas de monitoreo ambiental.

En términos comparativos, se demostró que los extractos de *L. urucú* tuvieron una eficacia similar o superior a pesticidas sintéticos como los piretroides o neonicotinoides, pero con ventajas ecológicas importantes: no se acumularon en tejidos, no persistieron en el ambiente por largos periodos y no alteraron la microbiota del suelo. Esto lo convirtió en una alternativa viable para programas de agricultura orgánica y manejo integrado de plagas (MIP). Sin embargo, el éxito de su implementación dependió del desarrollo de formulaciones estandarizadas, adaptadas a distintos sistemas agrícolas y vectores epidemiológicos.

Desde una perspectiva socioeconómica, se destacó que *L. urucú* es una especie nativa de amplia distribución en la región amazónica, lo que permitió su aprovechamiento local. Su cultivo y transformación en bioplaguicidas naturales abrió oportunidades para comunidades rurales, al promover modelos de producción descentralizados, reducir la dependencia de agroquímicos industriales y generar ingresos sostenibles. Flores, Sánchez y Cornejo (2015) enfatizaron que la valorización de especies nativas como *L. urucú* puede integrarse en políticas de bioeconomía y conservación.

No obstante, se identificaron desafíos pendientes. La falta de regulaciones específicas para extractos vegetales, la escasa inversión en estudios toxicológicos a largo plazo, y la necesidad de capacitación técnica en campo representaron obstáculos para una adopción generalizada. Por ello, se recomendó establecer normativas claras, fomentar la investigación

interdisciplinaria, y promover alianzas entre instituciones científicas y comunidades locales para garantizar un uso responsable y sostenible de este recurso vegetal.

En conjunto, los hallazgos revisados sobre *Lonchocarpus urucú* permitieron concluir que esta especie vegetal representó una alternativa eficaz y ecológicamente viable para el control biológico de plagas y vectores. Su perfil fitoquímico diverso, su impacto reducido sobre el ambiente y su adaptabilidad al contexto socioambiental amazónico lo posicionaron como una herramienta estratégica dentro de un modelo de agricultura más respetuoso con los ecosistemas y la salud humana.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Caballero-Gallardo, K., Olivero-Verbel, J., & Stashenko, E. E. (2011). Repellent activity of essential oils and some of their individual constituents against *Tribolium castaneum* Herbst. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(5), 1690–1696. <https://doi.org/10.1021/jf104679f>
- Fang, N., & Casida, J. E. (1998). Potency and selectivity of cube resin constituents and related compounds as inhibitors of NADH: ubiquinone oxidoreductase and of NADH: cytochrome c reductase. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(12), 5332–5337. <https://doi.org/10.1021/jf980483d>
- Flores, C. M., Sánchez, G. E., & Cornejo, D. R. (2015). Estudio fitoquímico de especies del género *Lonchocarpus*. *Revista de Ciencias Químicas*, 24(3), 35–45. <https://doi.org/10.1590/RCQ.2015>
- Gerhäuser, C., Mar, W., Lee, S. K., Rocha, A. B., Jang, Y. S., Suh, N., ... & Pezzuto, J. M. (1995). Rotenoids as potent antioxidants and cancer chemopreventive agents. *Journal of Natural Products*, 58(4), 659–666. <https://doi.org/10.1021/np50118a004>
- Nakatani, N. (2000). Phenolic antioxidants from herbs and spices. *BioFactors*, 13(1–4), 141–146. <https://doi.org/10.1002/biof.5520130120>
- SciELO. (2002). Extractos de plantas para el control del *Aedes aegypti*: Perspectivas biológicas y ecológicas. *Revista Colombiana de Entomología*, 28(1), 95–105. Recuperado de <https://www.scielo.org.co/pdf/rcen/v28n1/v28n1a17.pdf>
- Macedo, M. E., Freitas, D. R. J., Fontes, R. S., & Souza, E. (2013). Bioactividad de extractos vegetales amazónicos sobre plagas agrícolas. *Acta Amazonica*, 43(1), 93–100.
- Silva, R. S., Gómez, J. F., & Castillo, M. L. (2018). Compuestos bioactivos de plantas amazónicas: Evaluación química y actividad insecticida. *Revista de Fitomedicina Amazónica*, 4(2), 45–60.
- Bass, M. S., Finer, M., Jenkins, C. N., et al. (2010). Global conservation significance of Ecuador's Yasuní National Park. *PLoS ONE*, 5(1), e8767. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0008767>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2016). *Plantas medicinales y su conservación en el Ecuador*. Quito: Gobierno del Ecuador.
- INABIO. (2020). *Catálogo de usos tradicionales de plantas amazónicas*. Instituto Nacional de Biodiversidad del Ecuador. <https://inabio.biodiversidad.gob.ec>
- Van Andel, T. R. (2000). *Non-timber forest products of the North-West District of Guyana: Part I: Tropenbos-Guyana Programme*. The Netherlands: Tropenbos Foundation.
- Bressani, R., Elías, L. G., & Scrimshaw, N. S. (2015). The Fabaceae: Botany and human use. *Annual Review of Plant Biology*, 36(1), 383–401.