

María de la Luz Sánchez Estrada

**Efecto de la dieta del barquero del agua (Hemiptera, Corixidae)
sobre los compuestos bioactivos de su huevo (Ahuautle)**

2024



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería

**Efecto de la dieta del barquero del agua (Hemiptera,
Corixidae) sobre los compuestos bioactivos de su huevo
(Ahuautle)**

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el
Grado de

Doctora en Ingeniería de Biosistemas

Presenta

María de la Luz Sánchez Estrada

Dirigido por:

Dra. Ana Angélica Feregrino Pérez

Co-Director:

Dr. Robert Wallace Jones

Querétaro, Qro. a 13 de mayo de 2024

NOMBRE DEL TRABAJO

Tesis Completa (dra. gely).docx

RECUENTO DE PALABRAS

18375 Words

RECUENTO DE CARACTERES

100817 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

81 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

6.4MB

FECHA DE ENTREGA

May 15, 2024 4:02 PM CST

FECHA DEL INFORME

May 15, 2024 4:04 PM CST**● 10% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 9% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 5% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)
- Material citado



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería

Doctorado en Ingeniería de Biosistemas

Efecto de la dieta del barquero del agua (Hemiptera, Corixidae) sobre los componentes bioactivos de su huevo (Ahuautle)

Opción de titulación

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de Doctora en Ingeniería de Biosistemas

Presenta:

M. en C. María de la Luz Sánchez Estrada

Dirigido por:

Dra. Ana Angélica Feregrino Pérez

Co-dirigido por:

Dr. Robert Jones Wallace

Dra. Ana Angélica Feregrino Pérez
Presidente

Firma

3 Dr. Robert Jones Wallace
Secretario

Firma

Dr. Ramón Gerardo Guevara González

Vocal

Firma

Dr. Luis Miguel Contreras Medina
Suplente

Firma

Dr. Humberto Aguirre Becerra
Suplente

Firma

3 Centro Universitario
Querétaro, Qro.
México
Mayo 2024

© 2024 – María de la Luz Sánchez Estrada

Todos los derechos reservados

Esta tesis está dedicada a mi esposo, hijo, familia y amigos

Agradecimientos

El autor de esta tesis agradece al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCyT) y a la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ) por el apoyo brindado para poder concluir exitosamente el doctorado en Ingeniería en Biosistemas. Así como al Fondo de Proyectos Especiales de Rectoría de la UAQ (Foper) con número FOPER-2022-FIN02840. Agradezco profundamente a mi tutora, la doctora Ana Angélica Feregrino Pérez para llevar a cabo esta tesis y apoyarme en todo momento para poder cumplir con los requisitos del programa. Quiero agradecer a cada uno de mis sinodales por tomarse el tiempo de escucharme en cada revisión y darme las mejores sugerencias, así como revisar esta tesis, en especial quiero agradecerle al Dr. Robert Jones Wallace por entrenarme en capturar a los insectos acuáticos y enseñarme este mundo tan maravilloso de los insectos, ¡ha sido de lo más enriquecedor!, agradezco enormemente la confianza y el apoyo en todo momento que me otorgo el Dr. Ramon Gerardo Guevara de principio a fin, muchas gracias, fue un gran coordinador del programa. Gracias al Dr. Luis Miguel Contreras y al Dr. Humberto Becerra por ser parte de mi comité de sinodales y sus aportaciones a esta tesis. También quiero agradecer a mis docentes que afortunadamente tuve para afianzar y crecer el conocimiento generado, así como obtenido en el doctorado, gracias a todos por transmitir sus conocimientos. Gracias a mis compañeros del laboratorio que siempre dejaron huella en este proceso, en especial a Valeria Caltzonzin Rabell a su familia y pareja por su incondicional apoyo dentro y fuera del laboratorio, a Amanda Riccha y a Alexandro Escobar que los tres contribuyeron enormemente en llevar a cabo las técnicas analíticas expuestas en esta tesis. Gracias a Gilary, Lucy y Karina compartir sus conocimientos y su amistad, muchas gracias por todas las horas compartidas a todos. Gracias a mi casa de estudios, la Universidad Autónoma de Querétaro, en la cual tuve la fortuna de obtener grado de maestría y ahora el grado de

doctorado. Gracias a mi familia, empezando por mi esposo, Aldo Raúl López, que sin su apoyo económico, moral, emocional y de todo tipo no hubiera sido posible terminar esta tesis que también es suya. Gracias a mi hijo que me inspiró para ser una mamá que se reta todos los días para dar lo mejor de mi, gracias Santiago. También a mis suegros les agradezco, Guadalupe Gómez y Raúl López por brindarme su tiempo y apoyo cuando más lo necesité. Gracias a mi papá, Narciso Sánchez que siempre me motivaba a seguir y no desistir, a mi mamá que siempre me bendice desde el otro plano, a ³¹ mis hermanos por escucharme siempre y en especial a mi hermana Karina que me hace sentir un ejemplo a seguir.

A todos ustedes, ¡muchas gracias!

ÍNDICE GENERAL

46	RESUMEN.....	12
	ABSTRACT.....	14
	I. INTRODUCCIÓN.....	16
	II. ANTECEDENTES.....	19
	II.1. INSECTOS ACUÁTICOS COMESTIBLES.....	20
	II.2. CARACTERÍSTICAS DE LA FAMILIA CORIXIDAE.....	22
	II.3. MORFOLOGÍA DE LA FAMILIA CORIXIDAE.....	22
	II.4. TAXONOMIA DE LA FAMILIA CORIXIDAE.....	24
	II.5. CICLO DE VIDA DE LOS CORÍXIDOS.....	24
	II.6. CARACTERÍSTICAS DEL HUEVO DE <i>KRIZOUSACORIXA FEMORATA</i>	25
	II.7. CRÍANZA DE HEMÍPTEROS ACUÁTICOS (FAMILIA CORIXIDAE Y NOTONECTIDAE).....	26
	II.8. DIETA DE LOS CORÍXIDOS.....	28
	II.9. COMPOSICIÓN NUTRIMENTAL DE LOS CORIXIDAE Y SU HUEVO (AHUAUTLE).....	29
	II.9.1. <i>Análisis proximales</i>	29
	II.9.2. <i>La digestibilidad de las proteínas</i>	30
	II.9.3. <i>Aminoácidos en el Axayacatl y el Ahuautle</i>	31
	II.9.4. <i>Ácidos grasos en "Ahuautle"</i>	32
	II.9.5. <i>Compuestos biactivos</i>	34
	III. HIPÓTESIS.....	36
3	IV. OBJETIVOS.....	37
	IV.1. OBJETIVO GENERAL.....	37
	IV.2. OBJETIVOS PARTICULARES.....	37
	V. METODOLOGÍA.....	38
	V.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE COLECTA.....	38
	V.2. CONDICIONES DE CALIDAD DEL AGUA DEL LUGAR DE LA CHARCA.....	38
	V.3. RECOLECCIÓN DE <i>KRIZOUSACORIXA FEMORATA</i> (HEMÍPTERA: CORIXIDAE).....	39
	V.4. CRECIMIENTO Y COMPORTAMIENTO DE <i>KRIZOUSACORIXA FEMORATA</i> (HEMÍPTERA: CORIXIDAE) EN EL LABORATORIO.....	40
	V.4.1. <i>Puesta de huevos de <i>Krizousacorixa femorata</i></i>	41
	V.4.2. <i>Prueba de temperatura para eclosión de huevos</i>	42
	V.4.3. <i>Prueba de salinidad para eclosión de huevos</i>	42
	V.4.4. <i>Prueba de manipulación de los huevos de <i>K. femorata</i></i>	42
	V.4.5. <i>Pruebas de puesta de huevo de <i>K. femorata</i></i>	43
	V.4.6. <i>Pruebas de crecimiento en población de <i>K. femorata</i></i>	43
	V.4.7. <i>Ciclo de vida</i>	43
	V.4.8. <i>Preferencias de dieta</i>	44
	V.5. CARACTERÍSTICAS DE LA UNIDAD EXPERIMENTAL.....	44
	V.6. COSECHA DE LOS HUEVOS DE <i>K. FEMORATA</i>	46
	V.7. CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS DEL AHUAUTLE DE LA ZONA DEL LAGO DE TEXCOCO.....	47
	V.7.1. <i>Compuestos fenólicos y actividad antioxidante</i>	47
	V.7.2. <i>Determinación de los Análisis proximales</i>	48
	V.7.2.1. <i>Determinación de la grasa</i>	48

V.7.2.2. <i>Determinación de carbohidratos</i>	49
V.7.2.3. <i>Determinación de proteínas</i>	49
V.7.2.4. <i>Determinación de cenizas</i>	50
V.8. DETERMINACIÓN DE LOS ÁCIDOS GRASOS	51
V.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y DISEÑO EXPERIMENTAL	52
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	53
VI.1. RESULTADOS DE LAS VARIABLES DE CALIDAD DE AGUA.....	53
VI.1.1 <i>Resultados de la prueba de temperatura para eclosión</i>	53
<i>de huevos de K. femorata</i>	53
VI.1.2. <i>Resultados de la prueba de salinidad para la eclosión</i>	55
<i>de los huevos de K. femorata</i>	55
VI.2. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE MANIPULACIÓN DE LOS HUEVOS	57
DE <i>K. FEMORATA</i>	57
VI.2.1. <i>Resultados de la prueba del número de huevos puestos diariamente por las hembras</i>	
<i>de K. femorata</i>	58
VI.2.2. <i>Resultados de la prueba de crecimiento en población</i>	60
<i>de K. femorata</i>	60
VI.2.3. <i>Ciclo de vida</i>	61
VI.2.4. <i>Preferencia de la dieta de K. femorata</i>	62
VI.3. RESULTADOS DE COMPUESTOS BIOACTIVOS.....	65
VI.3.1. <i>Resultados de compuestos bioactivos en diferentes muestras comerciales de Ahuautle</i>	
.....	65
VI.3.2. <i>Resultados de compuestos fenólicos en los huevos de K. femorata bajo diferentes</i>	
<i>dietas</i>	67
VI.3.3. <i>Resultados de flavonoides y taninos condensados de los huevos de K. femorata</i>	70
VI.3.4. <i>Resultados de Ácidos grasos en huevo de K. femorata</i>	71
<i>bajo diferentes tratamientos</i>	71
VII. CONCLUSIONES	75
VIII. REFERENCIAS	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía de la familia Corixidae (Dossey et al., 2016; Ramos-Elorduy et al., 1997)	24
Tabla 2. Análisis químico del Axayacatl y Ahuautle (Base seca: g/100 g muestra).....	29
Tabla 3. Digestibilidad de proteínas in vitro (Ramos-Elorduy et al., 1997).....	30
Tabla 4. Contenido de aminoácidos esenciales (g/100g) (Ramos-Elorduy et al., 1997).	31
Tabla 5. Aminoácidos no esenciales en Ahuautle y Axayacatl (g/100g) (Ramos-Elorduy et al., 1997).	31
Tabla 6. Ácidos grasos poliinsaturados (Aires et al., 2005).....	32
Tabla 7. Contenido de ácidos grasos del Axayacatl y el Ahuautle (g/100 g de muestra seca).....	33
Tabla 8. Tratamientos con variación en la dieta de los adultos de <i>K. femorata</i> para obtener los huevos de Ahuautle.	45
Tabla 9. Variables de calidad de agua de <i>Krizousacorixa femorata</i>	53
Tabla 10. media + desviación estandar de los días transcurridos de cada estadio ninfal del ciclo de vida y el rango de mudas de <i>K. femorata</i>	61
Tabla 11. Macronutrientes en tres muestras diferentes de huevos de Corixidae (g/100 g base seca) (Sanchez et al., 2022).....	66
Tabla 12. Contenido de compuestos fenólicos en extractos de metanol en Ahuautle (Sanchez et al., 2022)	67
Tabla 13. Contenido de compuestos fenólicos en extractos de metanol en huevos de Corixidae (<i>Krizousacorixa femorata</i>) en diferentes tratamientos donde se varió la dieta (mg GAE/muestra) ± SD.....	67
Tabla 14. Contenido de ácidos grasos del Axayacatl y el Ahuautle (g/100 g de muestra seca).	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Características morfológicas básicas de los Hemíptera: Corixidae (Clifford, 1991).	23
Figura 2. Ciclo de vida de <i>Trichocorixa verticalis</i> (Hemíptera, Corixidae) (Céspedes et al., 2019)...	25
Figura 3. Charca temporal del lago de Texcoco donde fueron extraídos los insectos acuáticos en épocas de lluvias.	38
Figura 4. Medición de calidad de agua y pesca del barquero del agua.....	39
Figura 5. Recolecta y manejo de <i>Krizousacorixa femorata</i> (Hemíptera: Corixidae).	40
Figura 6. Adultos de la familia Corixidae (<i>Krizousacorixa femorata</i>) o también conocido como "barquero del agua", "Axayácatl" o "boteros".....	41
Figura 7. Proceso desde la puesta de huevo de <i>Krizousacorixa femorata</i> hasta eclosionar y tomar alimento.....	41
Figura 8. Unidad experimental para obtener a los huevos de los adultos de <i>K. femorata</i> bajo tres tratamientos donde se varia la dieta.....	45
Figura 9. Cosecha de huevos de <i>K. femorata</i> (Ahuautle).	46
Figura 10. Metodología general del experimento de tesis para obtener el huevo de "Ahuautle" rico en compuestos bioactivos.....	47
Figura 11 Diagrama de la caracterización de compuestos bioactivos del Ahuautle (Elaboración propia).	48
Figura 12. Metodología para extraer los ácidos grasos de la muestra de Ahuautle (Elaboración propia).....	51
Figura 13. Gráfico del porcentaje de eclosión de los huevos de <i>Krizousacorixa femorata</i> probando cuatro temperaturas diferentes.	54
Figura 14. Puesta de huevos de <i>K. femorata</i> a temperatura ambiente (24 °C).....	55
Figura 15. Grafico del porcentaje de eclosión de <i>K. femorata</i> a diferentes salinidades.....	56
Figura 16. Grafico del porcentaje de eclosión manipulando los huevos de <i>K. femorata</i>	57
Figura 17. Gráfico del número de huevos puestos diariamente por <i>K. femorata</i> a 20 °C.....	59
Figura 18. Proceso de cambio de estadio ninfal de <i>K. femorata</i> por medio de la muda.....	62
Figura 19. Gráfico del número de <i>Artemias</i> consumidas en un día en los primeros tres estadios ninfales de <i>K. femorata</i>	63
Figura 20. Gráfico de organismos vivos con alimento (<i>Alga spirulina spp.</i>) y sin	64
Figura 21. Gráfico de la concentración de compuestos fenólicos en huevos de <i>K. femorata</i> obtenidos en diferentes dietas.	68
Figura 22. Apariencia de diferentes muestras de Ahuautle.....	71

ÍNDICE DE CUADROS

<i>Cuadro 1. Evidencia del manejo de Hemíteros (familia: Corixidae y Notonectidae) relacionados a la crianza y ciclo de vida. Elaboración propia.</i>	<i>26</i>
--	-----------

RESUMEN

El cultivo de insectos comestibles terrestres está siendo promovido como alimento para ganado, acuicola y humano para la obtención de harinas y suplementos alimenticios. Desafortunadamente, no pasa lo mismo con los insectos acuáticos debido a que existen muy pocos estudios que proporcionen información nutricional y con protocolos de cría que involucren a estas especies. Esta tesis centra el interés en monitorear el comportamiento de *Krizousacorixa femorata* del orden Hemiptera, familia Corixidae, para obtener y analizar compuestos bioactivos de sus huevos conocidos como “Ahuautle” o el “Caviar mexicano” que es de consumo humano. Los Coríxidos fueron obtenidos del Lago de Texcoco y se trasladaron al laboratorio a ser colocados por triplicado en bandejas plásticas con agua bajo tres dietas: A= *Alga spirulina* spp.; AA= *Alga spirulina* spp. y *Artemia franciscana*; AR= *Artemia franciscana*; como Control se utilizaron huevos obtenidos del lago de Texcoco. Se cuantificaron fenoles, flavonoides, taninos y los ácidos grasos a los huevos obtenidos bajo los tratamientos. También se realizaron pruebas en los organismos de puestas de huevo, eclosión y preferencia de alimento. En el caso de la concentración de fenoles totales (mg GAE/g muestra) la mayor, la tuvo el control con 120.37 ± 21.56 ; seguido el tratamiento AA= 54.29 ± 4.76 ; tercero AR= 45.891 ± 3.73 y por último A= 31.51 ± 7.32 . Sin embargo, para el caso de ácidos grasos el tratamiento de la dieta *A. spirulina* spp. fue el mejor debido a que en la mayoría de los ácidos grasos no tuvo diferencia significativas respecto al control. Los cinco ácidos grasos mayoritarios en todos los tratamientos fueron: Mirístico, Miristoleico, Palmitoleico, Heptadecanoico y el linoléico, siendo todos los tratamientos una fuente importante de omega 6. También se observó que una hembra en promedio pone 21.16 ± 6.82 huevos/día y que consume de 1 a 5 artemias del primer al cuarto estadio ninfal pero no vive más de dos días sin alimento. los organismos mostraron canibalismo en población, a pesar a que tuvieron suficiente alimento. Los resultados de esta tesis sugieren que el consumo de Ahuautle es una fuente de compuestos bioactivos alternativa a las proteínas convencionales pero se requieren más estudios para lograr su producción en masa.

Palabras clave: Compuestos bioactivos, Corixidae, *Krizousacorixa femorata*, insectos acuáticos, Ahuautle.

59 ABSTRACT

The cultivation of terrestrial edible insects is being promoted as livestock, aquaculture, and human⁶⁶ This research focuses on studying the behavior of *Krizousacorixa femorata*, a water bug species found in Lake Texcoco, to obtain and analyze the bioactive compounds from their eggs, also known as "Ahuautle" or the "Mexican Caviar". The goal is to determine the nutritional value and rearing protocols for these aquatic insects, as there is currently limited information available. The bugs were placed in triplicate plastic trays with water and fed three different diets: **A** (*Spirulina* spp. algae), **AA** (*Spirulina* spp. algae and *Artemia franciscana*), and **AR** (*Artemia franciscana*). The eggs obtained from Lake Texcoco were used as the control. The researchers analyzed the phenols, flavonoids, tannins, and fatty acids present in the eggs obtained under each diet treatment. Tests were conducted on organisms such as those that lay eggs, hatch, and have food preferences. In terms of total phenol concentration (mg GAE/g sample), the control had the highest concentration with 120.37 ± 21.56 , followed by treatment **AA** with 54.29 ± 4.76 , then **AR** with 45.891 ± 3.73 , and lastly **A** with 31.51 ± 7.32 . However, in the case of fatty acids, the *A. spirulina* spp. diet treatment was the most effective because in most of the fatty acids, there was no⁴⁴ significant difference compared to the control. The five principal fatty acids in all treatments were Myristic, Myristoleic, Palmitoleic, Heptadecanoic, and Linoleic, and all treatments were an essential source of omega 6. It was also observed that a female organism lays an average of 21.16 ± 6.82 eggs per day and consumes 1 to 5 artemia from the first to the fourth nymphal stage but does not live more than two days without food. The organisms showed cannibalism when trying to grow in population, even though they had enough food.¹¹ Based on the results of this study, the consumption of Ahuautle could be an alternative source of bioactive compounds to conventional proteins. However, further studies are needed to achieve mass production.

Key words: Bioactive compounds, Corixidae, *Krizousacorixa femorata*, aquatic insects, Ahuautle.

I. INTRODUCCIÓN

En 2050, se estima que la población mundial será de más de 9000 millones de personas, en un mundo en crecimiento en el que la población está en constante aumento, los alimentos son un problema grave debido a la alta demanda de alimentos y la escasez de recursos para atender estas necesidades (FAO, 2021). Es por ello, que se busca obtener fuentes de alimentos nutritivos. Una opción son los insectos comestibles que además de ser una fuente importante de proteína, su producción puede ser sostenible con el medio ambiente, siendo los insectos comestibles una opción viable como fuente de alimento humano y para ganado (van Huis, 2015).

Los insectos son animales invertebrados con más diversidad que cualquier otro, ya que se conocen alrededor de un millón de especies de los cuales, alrededor de mil novecientas especies son comestibles (Gahukar, 2016). Los insectos comestibles tienen un gran potencial como alimento humano debido a la composición nutricional, a la funcionalidad y a los compuestos bioactivos presentes, ya que se ha demostrado que son una fuente de alimentos saludables con un alto contenido de proteínas, una cantidad significativa de lípidos, vitaminas, minerales y fibras (Jantzen da Silva Lucas et al., 2020).

La población de insectos en general se encuentra en declive debido al uso de plaguicidas, la pérdida de hábitats por deforestación, uso de tierra agrícola y cambio climático (Outhwaite et al., 2022). En el caso de los insectos acuáticos los pone en riesgo las sequías y contaminación de los cuerpos de agua (Zhao et al., 2021). Además, existe el riesgo de que los insectos comestibles recolectados en campo estén contaminados con plaguicidas, metales pesados o microorganismos patógenos, que resulta ser un serio problema para los potenciales consumidores (Belluco et al., 2013). Es por ello que algunos de los

esfuerzos científicos, se enfocan desarrollar métodos de crías viables y comerciales de los insectos comestibles.

Desde la época prehispánica, el "mosco" conocido también como "barquero del agua" o "Axayacatl" han sido recolectados y de ⁵⁴ gran importancia histórica y cultural para el pueblo de México. Éstos, son los adultos de la familia Corixidae y Notonectidae. Sus huevos se les conoce como "Ahuatle" y siguen siendo de consumo humano (González-Santoyo et al., 2020). El axayacatl de la cuenca de Texcoco-México incluye las especies *Krizousacorixa azteca* (Jacz), *Krizousacorixa femorata* (Guérin 1857), *Corisella texcocana* (Jacz), *Corisella mercenaria* (Say 1832), *Graptocorixa abdominalis* (Say 1832), y *Graptocorixa bimaculata* (Guérin 1857) (Ancona, 1933). El "Axayacatl" se comercializa en el mercado nacional e internacional como alimento para aves canoras y peces ornamentales dado su alto contenido proteico (62.8-72.4%) (Ramos Elorduy et al., 1998; Sanchez et al., 2022). Aunque no existe un registro continuo, algunos datos muestran que la producción alcanzó casi 1200 toneladas de peso húmedo en 1989, con un promedio de 225 toneladas de peso húmedo por año entre 1983 y 1999. Las ventas de "mosco" aportaron casi 15 millones de pesos mexicanos. Las capturas de "mosco" representan aproximadamente el 19% de las extracciones totales de los recursos pesqueros del Lago de Cuitzeo, no existiendo en el mundo una pesquería de hemípteros como la del lago de Cuitzeo (González-Santoyo et al., 2020). A pesar de que cuentan con gran contenido de compuestos bioactivos y ser un excelente fuente de macronutrientes como la proteína y todas sus características nutricionales de estos insectos acuáticos (Sanchez et al., 2022), Zhao y colaboradores (2021) no recomiendan consumir los recursos silvestres a gran escala. Ellos consideran que es mejor realizar el cultivo estandarizado para que puedan consumirse con seguridad y así también, minimizar el impacto sobre especies silvestres (Zhao et al., 2021).

En este sentido para poder criar a una especie acuática se debe tener en cuenta cuál es su dieta, ya que, la mayoría de los insectos acuáticos comestibles son animales carnívoros (Zhao et al., 2021). La dieta de los Corixidae de acuerdo con Reynolds (1975) puede ser desde algas filamentosas, plancton, diatomeas, ostrácodos, oligoquetos, larvas de escarabajo, quironómidos, efemerópteros y anfípodos (Reynolds, 1975). También se debe de considerar las condiciones de la calidad del agua para tratar de imitar las condiciones silvestres (Contreras Rivero et al., 1999).

Los compuestos fenólicos han sido ampliamente conocidos por su actividad antioxidante también y se encuentran en los insectos comestibles tal es el caso del grillo que se analizaron dichos compuestos en diferentes estudios, que se deben a los compuestos fenólicos derivados de plantas presentes en su dieta y a la capacidad de los insectos para sintetizar a través del proceso de esclerotización (Nino, Reddivari, Ferruzzi, et al., 2021; Sirichocktanap & Chanput, 2022).

Pocos estudios se han realizado de los compuestos fenolicos contenidos en huevo, sin embargo estudios como el de Furneaux encontró compuestos fenolicos en huevo de grillo (Furneaux, 1964) Estudios como el de Sánchez et al (2022) muestran que la composición de ácidos grasos y del contenido de fenoles totales en huevo "Ahuautle" depende del punto de muestreo donde se obtenga el huevo, que puede variar conforme a la dieta disponible de los adultos en su habitat silvestre. Es por ello que, el presente trabajo en primer lugar se evaluó la capacidad de la familia Corixidae de ser domesticada, monitoreando la calidad de agua y preferencia de la dieta; en segundo lugar evaluar la influencia de su dieta sobre los compuestos bioactivos contenidos en su huevo, como fenoles, flavonoides, taninos y ácidos grasos y por último se realizaron pruebas en los organismos de puestas de huevo, eclosión y ciclo de vida.

II. ANTECEDENTES

La entomofagia es la práctica de comer insectos, este termino se utilizó por primera vez en el año de 1810 (Evans et al., 2015) pero ha existido la práctica en diferentes partes del mundo desde cientos de años atrás. En las culturas, en las que los insectos son un alimento, existen normas claras y localizadas sobre qué especies se consideran comestibles y cómo se preparan y consumen de la forma más adecuada. Por ello, hoy en día, los insectos comestibles son una opción viable para la población, pues contemplan los requerimientos dietéticos con fuentes proteicas sustentables (van Huis, 2015)

El proceso de la cría de insectos comestibles hoy en día es una realidad, ya se conocen empresas con granjas de insectos comestibles terrestres como *Acheta domesticus*, la larva del escarabajo *Tenebrio molitor*, y cada vez se potencializan más los estudios sobre la mosca soldado negra *Hermetia illucens* (Madau et al., 2020). La crianza de los insectos debe tener en cuenta llevarse a cabo en un ambiente cerrado y controlado para tener control ambiental (temperatura, humedad relativa, fotoperiodo); así como, alimentación de calidad y prevención de parasitoides y enfermedades para un seguro crecimiento y desarrollo de los insectos comestibles. Esto permite garantizar la producción constante todo el año, a diferencia de la recolección que solo es posible por temporadas, todo ello posibilita lograr la producción a escala comercial mediante sistemas agrícolas automatizados que sean económicamente competitivos con la producción de carne de ganado (Gahukar, 2016). Así, el objetivo final es la producción masiva de insectos como una alternativa para mejorar el suministro de alimentos ricos en proteínas y reducir el impacto ambiental.

Actualmente, en México, los insectos se obtienen principalmente mediante su recolección; incluso Ramos Elorduy (2004) menciona un concepto llamado protocultivos, que consiste en el cuidado de los nidos de los insectos para luego

explotarlos (Ramos-Elorduy et al., 2008). Sin embargo, algunos insectos terrestres comestibles, como la mosca soldado negra, el gusano de la harina, el grillo y el saltamontes, aparecen ya en granjas de insectos, teniendo una posición en el mercado y en la vida cotidiana ya como suplementos alimenticios y harinas; aunque no pasa lo mismo con los seis de los 12 órdenes de insectos acuáticos que son comestibles (Williams et al., 2021) incluso se desconoce que existan investigaciones con enfoque de establecer crianza y cultivos (Zhao et al., 2021).

II.1. Insectos acuáticos comestibles

Los insectos acuáticos están compuestos por unas 76.000 especies, que se encuentran en una amplia gama de hábitats acuáticos (y semiacuáticos), desde manantiales, estanques y lagos hasta grandes ríos (Koroiva & Pepinelli, 2019; Williams et al., 2021). Los insectos acuáticos comestibles tienen un gran potencial para servir a los humanos con beneficios nutricionales y sanitarios (Zhao et al., 2021).

Los insectos acuáticos, como indicadores medioambientales, han atraído una gran atención durante mucho tiempo, y su investigación relacionada es muy rica y se sabe que los insectos acuáticos acumulan fácilmente diversos contaminantes, como metales pesados, patógenos, plaguicidas, que pueden entrar en el cuerpo humano a través de la cadena alimentaria, lo que causará daños a la salud humana (Chaves- Ulloa et al., 2016). Hasta la fecha, se han detectado más de 33 elementos metálicos en insectos acuáticos comestibles, y los metales pesados, como Hg, Pb, Cd y Cr, han suscitado gran preocupación de que los insectos pueden absorber elementos metálicos y acumular una concentración de los mismos superior a la del medio ambiente (Aydoğan et al., 2017; Hare, 1992). Incluso, un estudio mostró que el contenido de mercurio en los insectos carnívoros fue generalmente mayor que en los insectos herbívoros, y el contenido de mercurio en los insectos acuáticos fue mucho mayor que en los

insectos terrestres con una investigación de 42 especies de insectos de Yunnan, China, lo cual viene a incrementar el riesgo de salud al consumirlos (Wang et al., 2019).

Sin embargo, en algunos lugares del mundo si se hace captura de insectos acuáticos con la finalidad de consumirlos como alimento humano y como alimento de aves. Por ejemplo, la biomasa capturada de insectos acuáticos en Zaire (África Central) ya ha alcanzó un valor muy elevado, con 16 toneladas/año en 1989 (Kitsa, 1989). Otros datos en México, muestran que la producción insectos acuáticos del orden Hemiptera (Corixidae, Notonectidae) alcanzó casi 1200 toneladas de peso húmedo en 1989, con un promedio de 225 toneladas de peso húmedo por año entre 1983 y 1999. A este grupo de insectos se les conoce como “mosco” y las ventas de éste aportaron casi 15 millones de pesos mexicanos (González-Santoyo et al., 2020). Las capturas de "mosco" representan aproximadamente el 19% de las extracciones totales de los recursos pesqueros del Lago de Cuitzeo, no existiendo en el mundo una pesquería de hemípteros como la del lago de Cuitzeo (González-Santoyo et al., 2020). Un reciente estudio posiciona a los insectos acuáticos migratorios, corixidos (Hemiptera: Corixidae), como las migraciones que pueden conducir a un aumento drástico de las densidades de corixidos de hasta ~ 3.000 individuos/m² dentro de áreas de agua estancada o de movimiento lento que es ~ 500 g de material de corixidos, siendo una fuente importante de alimento para peces (Srayko et al., 2022). En el estudio de Srayko y colaboradores (2022) estimaron que las migraciones estacionales podrían dar lugar a obtener ~ 1500 toneladas métricas de corixidos en los ríos que estudiaron y que $\sim 12\ 000$ toneladas de biomasa se mueven entre los humedales y los ríos a lo largo de todo la región de baches de la pradera de América del norte cada otoño (Srayko et al., 2022), lo que lo hace un recurso importante de explotación no tan explorado.

II.2. Características de la familia Corixidae

Los corixidos, también conocidos como los barqueros acuáticos, son el grupo más diverso de hemípteros acuáticos que nadan bajo la superficie del agua, tanto en aguas corrientes como estancadas. Rompen la superficie del agua con el pronoto (*Figura 1*). Las hembras depositan un gran número de huevos, individualmente, en una variedad de objetos sumergidos. En otoño, puede haber grandes poblaciones, incluso en enjambres, especialmente en grandes arroyos (Clifford, 1991). Estos enjambres pueden contener varias especies. Los corixidos, también vuelan en otoño. Los corixidos suelen invernar como adultos y aparearse en la primavera siguiente (Clifford, 1991).

Los Corixidae son incapaces de utilizar su rostrum y su secreción salival para defenderse. La abertura de las grandes glándulas metatorácicas está situada lateralmente de los mesocoxos y contiene una válvula mediana, una válvula de solapa no dividida, y un músculo abridor de la válvula ventral. Obviamente, la secreción, de color amarillo pálido y olor a aldehído, se agota debido a la elasticidad del reservorio de la glándula. Debido a las propiedades antibacterianas de la secreción aldehídica, se minimiza la contaminación de los pelos hidrófugos por microorganismos y, por tanto, se reduce la pérdida de aire almacenado: no tienen pelos hidrófugos y obtienen oxígeno por difusión cutánea. Los Corixidae son capaces de saltar del agua al aire y emprender el vuelo (Del-Claro & Guillermo, 2019).

II.3. Morfología de la familia Corixidae

La familia Corixidae son Heterópteros de tamaño pequeño a mediano (2,5-15,0 mm), con cabeza ancha y fuertemente hipognata. No presentan ocelos (excepto la subfamilia Diaprepocorinae), las antenas constan de tres o cuatro segmentos y están ocultas entre los ojos y el protórax (*Figura 1*). El labio presenta una

condición particular: es ancho en la base y más angosto en el ápice, no es segmentado y está fusionado a la cabeza de manera inmóvil. El escutelo puede estar expuesto o cubierto por el pronoto, los hemiélitros presentan una textura uniforme y la membrana es lisa sin nervaduras. Las patas anteriores son cortas, más cortas que las medianas y posteriores; el protarso es unisegmentado y tiene forma de cuchara o pala con setas ubicadas en hileras y en algunos casos está fusionado a la tibia formando un tibiotarso. Las patas medianas son largas y delgadas, el mesotarso puede ser uni o bisegmentado y lleva un par de uñas largas. Las patas posteriores son aplanadas, con forma de remos, con hileras de setas en las aristas ventrales y posteriores, el metatarso es bisegmentado. Presentan una estructura estridulatoria formada por áreas de espículas en la superficie basal y media de los profémures. Los adultos presentan glándulas odoríferas metatorácicas, y las larvas, glándulas odoríferas entre los tergitos abdominales III/IV, IV/V y V/VI. Los machos presentan un estrígil en el tergo abdominal VI, los últimos segmentos abdominales suelen ser fuertemente asimétricos (Schuh & Slater, 1995).

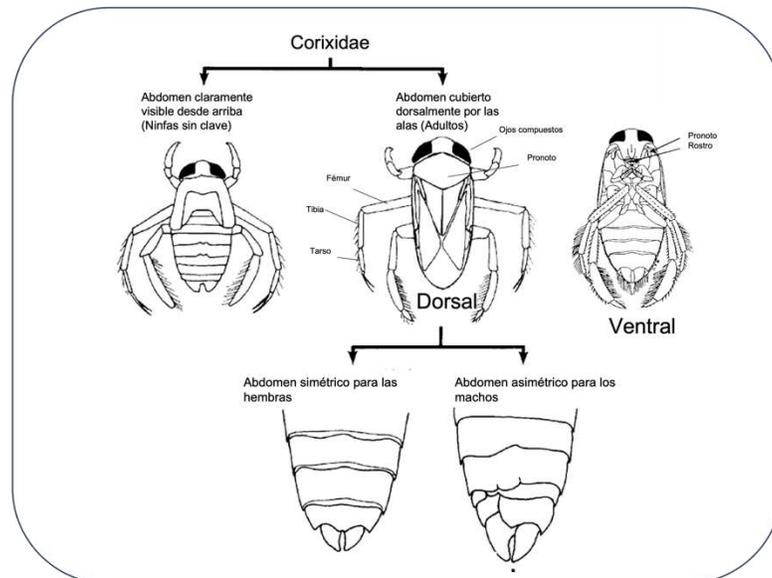


Figura 1. Características morfológicas básicas de los Hemíptera: Corixidae (Clifford, 1991).

Prácticamente todos los hemípteros acuáticos son depredadores con piezas bucales succionales opistognatas (estiletes encerrados en un rostrum) y digestión extraoral. Las excepciones son la familia Corixidae, que carece de rostrum adistinto, pero posee estiletes capaces de perforar y succionar. Es probable que los hábitos alimentarios de los coríxidos sean diferentes de los de otros insectos acuáticos, y también es probable que sean diversos dentro de la familia Corixidae. Perforan y succionan cuando se alimentan de sus presas, pero también ingieren alimentos sólidos, que son masticados por los dientes bucofaríngeos, por lo que pueden consumir alimentos sólidos o líquidos (Lancaster & Downes, 2013; Savage, 1989).

II.4. Taxonomía de la familia Corixidae

La *Tabla 1* muestra la taxonomía de la familia corixidae, donde el género y la especie cambia de acuerdo con el organismo a identificar.

Tabla 1. Taxonomía de la familia Corixidae (*Dossey et al., 2016; Ramos-Elorduy et al., 1997*).

Reino	Animalia
Filo	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Hemíptera
Familia	Corixidae
Género	<i>Krizousacorixa</i>
Especie	<i>femorata</i> (Guérin-Ménéville)

II.5. Ciclo de vida de los coríxidos

Pocos estudios se han realizado para seguir el ciclo de vida de la familia corixidae. El estudio de Céspedes y colaboradores (2019) publicaron el ciclo de vida de *Trichocorixa verticalis* (Hemíptera, Corixidae) (*Figura 2*). La figura está adaptada y traducida desde el estudio de Céspedes y colaboradores (Céspedes

et al., 2017). Para seguir el ciclo de vida Céspedes y colaboradores hicieron una combinación de 22 estudios de campo y experimentos de laboratorio. Los estudios de campo fueron mensuales durante un año en diferentes charcas. Los experimentos de laboratorio revelaron una tasa de oviposición de 11,5 huevos por día y un tiempo de crecimiento de alrededor de 54 días desde el huevo hasta pasar a adulto (Céspedes et al., 2017).

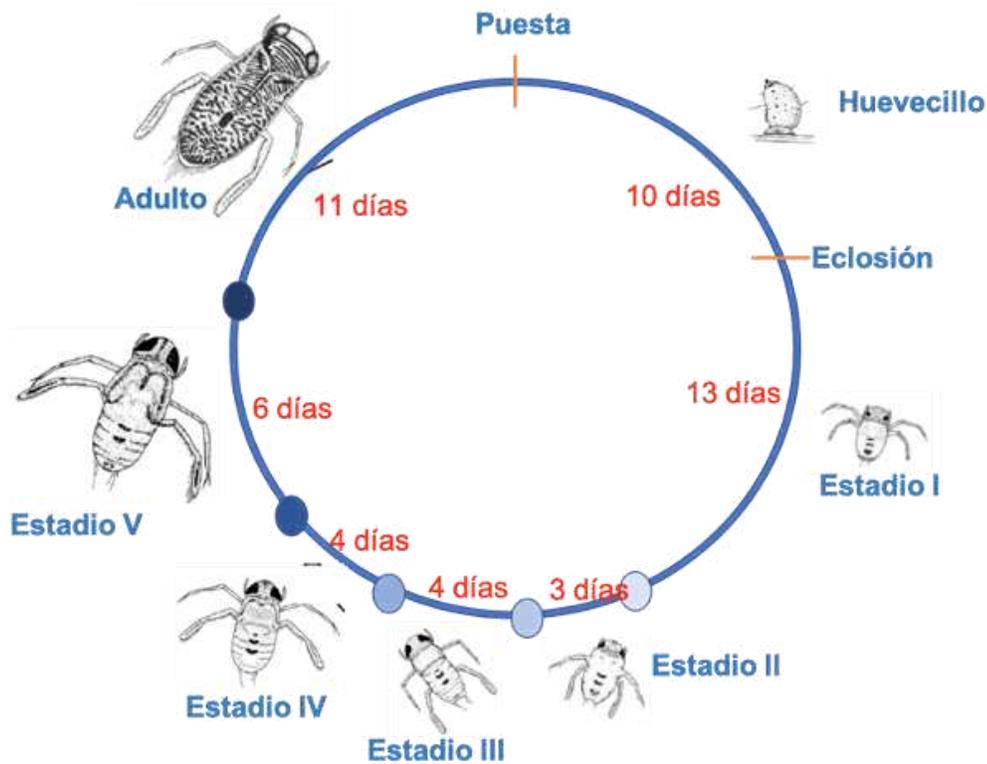


Figura 2. Ciclo de vida de *Trichocorixa verticalis* (Hemiptera, Corixidae) (Céspedes et al., 2019).

II.6. Características del huevo de *Krizousacorixa femorata*

Las características del huevo de *Krizousacorixa femorata* (Guérin-Ménéville) fueron descritas por Hungerford y las describe con un dibujo con las siguientes dimensiones: Longitud total 0,86 mm; longitud del micrópilo 0,06 mm; longitud del pedúnculo 0,09 mm; diámetro 0,36 mm. Color bronceado amarillento; forma

ovalada y alargada; superficie minuciosamente picada o esculpida (Hungerford, 1948).

II.7. Cría de Hemípteros Acuáticos (Familia Corixidae y Notonectidae)

En cuanto a la crianza de los Hemípteros se tienen pocos estudios, sin embargo, el Cuadro 1 resume los trabajos realizados.

Cuadro 1. Evidencia del manejo de Hemípteros (familia: Corixidae y Notonectidae) relacionados a la crianza y ciclo de vida. Elaboración propia.

Año	Especie	Principales Hallazgos	Referencias
1971	<i>Krizousacorixa femorata</i>	El estudio se enfocó sobre el ciclo biológico de <i>Krizousacorixa femorata</i> (Guer.) y mostraron el desarrollo desde el óvulo hasta el estado adulto produciéndose en un período de <u>cinco estadios ninfales</u> (Fig. 2). Aunque la especie es polimórfica, con machos asimétricos dextrales y sinistral y hembras bisimétricas, no se observaron diferencias significativas en su ciclo biológico.	(W. Peters & Spurgeon, 1971)
2002	1. <i>Trichocorixella mexicana</i> 2. <i>Graptocorixa sp</i> 3. <i>Krizousacorixa femorata</i> 4. <i>Corisella edulis</i>	La aportación principal fue mencionar algunos aspectos ecológicos relacionando la densidad de las especies de corixidos observadas y su relación con los parámetros físicos y químicos en un período de un año. Los resultados sugieren que las densidades cambian conforme a la época el año siendo <i>T. mexicana</i> más abundante en noviembre y menos abundante en julio. <i>Graptocorixa sp.</i> presentó su mayor abundancia en enero y la menor en noviembre. <i>K. femorata</i> fue más abundante en enero y poco abundante en mayo. <i>C. edullis</i> solamente se presentó en octubre y en baja densidad. El Análisis de Componentes Principales, señalaron parámetros con la mayor influencia en el estanque y sobre la densidad de las especies encontradas fueron la dureza, la alcalinidad y el pH.	(Contreras Rivero et al., 2001)
2019	<i>Trichocorixa verticalis</i>	Se investigó el ciclo de vida de <i>T. verticalis</i> en el área de distribución introducida en el suroeste de España, mediante una combinación de estudios de campo mensuales y experimentos de laboratorio durante un año en tres charcas salinas. Los resultados de laboratorio revelaron una tasa de oviposición de 11,5 huevos por día y un tiempo completar el ciclo de crecimiento de 54 días desde el huevo hasta el adulto, lo que sugiere que <i>T. verticalis</i> puede completar unas seis generaciones al año.	(Céspedes et al., 2019)

2020	1. <i>Trichocorixa verticalis</i> 2. <i>Sigara lateralis</i>	Carbonell y colaboradores llevaron a cabo una prueba experimental de la competencia interespecífica entre el barquero exótico <i>Trichocorixa verticalis</i> y el corixido nativo <i>Sigara lateralis</i> (Hemiptera, Corixidae). Se establecieron tanques de una sola especie, para cada especie en condiciones seminaturales, como así como tanques de especies mixtas y controles que carecen de corixidos. <i>Trichocorixa verticalis</i> era capaz de completar su ciclo de vida a una baja salinidad de 2 g/l. Cuando se mezclaron, ambas especies tuvieron una mortalidad adulta más baja que en el tratamiento solo, lo que sugiere que pueden coexistir.	(Carbonell et al., 2020)
2020	<i>Anisops sardeus</i>	Se estudió el ciclo biológico de <i>Anisops sardeus</i> (Heteroptera: Notonectidae) criando individuos desde la fase de huevo hasta la de adulto en condiciones de laboratorio a una temperatura del agua de $23,2 \pm 1,4$ °C durante la estación húmeda (mayo-junio) y de $19 \pm 1,8$ °C durante la estación seca (diciembre-febrero). El periodo de incubación fue de $8 \pm 0,8$ y $11,5 \pm 1,7$ días de media durante las estaciones húmeda y seca, respectivamente. La duración media de los cinco estadios fue de 3.4 ± 0.5 , 4.4 ± 0.5 , 4.8 ± 0.8 , 5 ± 0.7 y 6.9 ± 0.7 días, respectivamente, durante la estación húmeda, y de 4.9 ± 0.7 , 6.5 ± 1.1 , 7.5 ± 1.1 , 8.1 ± 0.7 y 9.4 ± 1.1 días, respectivamente, durante la estación seca. El tiempo total de desarrollo fue en promedio de 32.5 ± 2 y 47.9 ± 2.8 días en las estaciones húmeda y seca, respectivamente.	(Chanu et al., 2020)
2021	<i>Anisops breddini</i>	En este trabajo se estudiaron los efectos de los cambios estacionales en el ciclo de vida y la morfometría de <i>Anisops breddini</i> (Hemiptera: Notonectidae). Se criaron huevos en adultos en condiciones de laboratorio durante las estaciones húmedas y secas. El periodo promedio de incubación de los huevos, la duración del desarrollo de los estadios ninfales I-V y el tiempo total de desarrollo fueron significativamente menores a temperatura cálida (temporada húmeda) que en temperatura fría (temporada seca). Sin embargo, el porcentaje de eclosión fue significativamente más alto a temperatura cálida que a temperatura fría.	(Memtombi Chanu et al., 2021)
2022	<i>Anisops sardeus</i>	Los principales hallazgos fueron la variación en el porcentaje de huevos eclosionados y en el tamaño de los huevos de <i>A. sardeus</i> (Heteroptera: Notonectidae) entre las distintas estaciones, ya que fueron estadísticamente significativas. Además, la variación estacional en la abundancia relativa de ninfas de <i>A. sardeus</i> en el campo se correspondió con el éxito de eclosión en las distintas estaciones en el laboratorio. El porcentaje de huevos eclosionados durante la estación monzónica (28.95 ± 0.31 °C) fue 45.20, 29.26 y 19.89 % superior al de las estaciones invernal (26.97 ± 2.40 °C), premonzónica (25.92 ± 1.06 °C) y postmonzónica (20.08 ± 1.68 °C),	(Chanu, 2022)

II.8. Dieta de los corixidos

Los insectos habitan una gran variedad de entornos con diferentes hábitos alimentarios; la mayoría de los insectos terrestres son fitófagos, mientras que la mayoría de los insectos acuáticos son carnívoros (Yen, 2015). La depredación es un tipo de interacción biológica en la que el individuo de una especie animal, denominado depredador, caza al individuo de otra especie, la presa, para subsistir (Saavedra Garrido, 2018).

El contenido intestinal de los corixidos no es fácil de identificar, ya que es en gran parte fluido. Su dieta fundamental sigue siendo controvertida, aunque existen pruebas observacionales tanto de depredación como de fitófagos (Reynolds, 1975). En general, se ha reportado que presentan una amplia variedad de hábitos alimenticios ya que pueden ser herbívoros, detritívoros, carnívoros y omnívoros (Jansson & Scudder, 1972; Sutton, 1951; Zwart, 1965). En un estudio realizado por Reynolds (1975), observó que los corixidos podían alimentarse de una gran variedad de organismos como: quironómidos, Daphnia, Diaptómidos, coleópteros, zigópteros, anfípodos, efemerópteros tanto vivos como muertos; así como plankton mixto muerto, macrófitos, algas y ninfas de corixidos. Algunos estudios en diferentes lagos se ha observado que cuando hay una mayor abundancia de Corixidae, las poblaciones de Artemia disminuyen, siendo evidencia de que forma parte de su dieta (Jansson & Scudder, 1972; Shadrin et al., 2019). Otros estudios realizados a las familias Corixidae y Notonectidae utilizan como fuente de alimento algas y larvas de quironómidos (Céspedes et al., 2019; Chanu et al., 2020).

II.9. Composición nutrimental de los Corixidae y su huevo (Ahuautle)

Al tratarse de insectos acuáticos, se tiene muy poca información de la composición nutricional recientemente, sin embargo, existen estudios de la composición nutricional del “Ahuautle” y “Axayacatl”.

II.9.1. Análisis proximales

Los diferentes estudios que se muestran en la *Tabla 2*, confirman que tanto los adultos como los huevos de los Corixidae contienen un alto contenido proteico, además de ser una fuente de minerales importante.

Tabla 2. Análisis químico del Axayacatl y Ahuautle (Base seca: g/100 g muestra).

Nombre	Proteínas	Grasas	Minerales	Fibra cruda	Carbohidratos	Referencia
Ahuautle	56.55	4.43	21	6.22		(Ramos Elorduy et al., 1998)
	62±1.4	7±1.0	19±2.2		12 ± 2.0	(Ramos- Elorduy et al., 1997)
	72.47±0.12	9.19±0.003	10.97±0.01		7.36±0.08	(Sanchez et al., 2022)
Axayacatl	62.80	9.67	8.84	10.46		(Ramos Elorduy et al., 1998)
	58±2.8	9±0.7	18±1.9		15±1.2	(Ramos- Elorduy et al., 1997)

II.9.2. La digestibilidad de las proteínas

8 La digestibilidad es una forma de medir el aprovechamiento de un alimento, es decir, la facilidad con que es convertido en el aparato digestivo en sustancias útiles para la nutrición. Comprende dos procesos, la digestión que corresponde a la hidrólisis de las moléculas complejas de los alimentos, y la absorción de pequeñas moléculas (aminoácidos, ácidos grasos) en el intestino (Manríquez, 1994).

La determinación de la fuente de proteínas en la digestibilidad in vivo es un proceso largo y costoso que implica la cría de animales con una dieta específica, la recolección fecal y su análisis, además implica el uso de muchos animales. El desarrollo de técnicas de hidrólisis de proteínas in vitro permite una estimación de la digestibilidad de la fuente de proteínas sin las desventajas de la digestibilidad in vivo, del mismo modo, se utilizan técnicas de digestibilidad in vitro para obtener hidrolizados de proteínas que permiten una mayor biodisponibilidad de los aminoácidos (Mirzakhani et al., 2018). La *Tabla 3*, muestra tanto el porcentaje de proteína digerible como el porcentaje de digestibilidad del “Axayacatl” y el “Ahuautle”, observando que no solo es una excelente fuente de proteína, sino que además, la proteína es digerible por encima del 98% en el caso del “Ahuautle”.

Tabla 3. Digestibilidad de proteínas *in vitro* (Ramos-Elorduy et al., 1997).

Especies	% total de proteínas	% de proteína digerible	% de digestibilidad
Axayacatl*	58.0	56.9	98.0
Ahuautle**	61.9	55.3	89.3

*=Adultos del género *Krizousacorixa*, *Corisella* y *Notonecta*. **=Huevecillos del género *Krizousacorixa*, *Corisella* y *Notonecta*.

II.9.3. Aminoácidos en el Axayacatl y el Ahuautle

Al contener elevado contenido proteico tanto los huevos como los adultos de los corixidae, el contenido de aminoácidos esenciales y no esenciales está presente en ambos (*Tabla 4 y Tabla 5*) (Ramos-Elorduy et al., 1997), sin embargo, en este estudio se determinó que el porcentaje de aminoácidos limitante en el Ahuautle es de 55 % de triptofano, mientras que para el Axayacatl es 16% de Metionina+Cisteina. En general, la Tabla 4 permite aseverar a través del perfil de aminoácidos, que la calidad de la proteína es buena. (Ramos-Elorduy, 2002).

Tabla 4. Contenido de aminoácidos esenciales (g/100g) (Ramos-Elorduy et al., 1997).

Aminoácidos esenciales	Ahuautle	Axayacatl
Isoleucina	2.9	2.9
Leucina	5.3	4.5
Lisina	3.8	2.8
Metionina	2.7	0.1
Cisteina	0.1	0.3
Fenilalanina	2.7	2.4
Tirosina	7.3	5.0
Treonina	4.0	2.6
Triptofano	0.6	0.4
Valina	2.0	2.7
Histidina	1.9	1.5

Tabla 5. Aminoácidos no esenciales en Ahuautle y Axayacatl (g/100g) (Ramos-Elorduy et al., 1997).

Aminoácidos no esenciales	Ahuautle	Axayacatl
Ácido aspartico	1.8	4.6
Serina	5.6	3.2
Ácido glutámico	8.8	7.1
Prolina	na	na
Glicina	3.8	3.7
Alanina	5	4.4

Además de la calidad de aminoácidos y contenido proteico de los adultos y sus huevos, éstos contienen minerales de interés. El Axayácatl en promedio contiene 3.325g de potasio y 0.057g de zinc, el Ahuautle 0.442g de calcio, 0.044g de hierro y 2.558g de magnesio en 100 g de muestra (Ramos-Elorduy et al., 2002).

II.9.4. Ácidos grasos en “Ahuautle”

Los ácidos grasos¹ forman parte de la estructura de la membrana celular y son el sustrato para la síntesis de las prostaglandinas que median numerosos procesos biológicos. Dentro de los ácidos grasos poliinsaturados, los omega-3 y omega-6 son los más abundantes en los mamíferos. Sus precursores, los ácidos alfa-linolénico (ALA) y linoleico (LA), se consideran ácidos grasos esenciales porque el organismo los utiliza para su funcionamiento, sin embargo no los puede sintetizar, por lo que es necesario consumirlos en la dieta (Aires et al., 2005). Los ácidos grasos poliinsaturados de la serie del ácido linoleico (serie ω -6) y la del ácido linolénico (serie ω -3) se muestran en la *Tabla 6*.

Tabla 6. Ácidos grasos poliinsaturados (Aires et al., 2005).

	Omega-3	Omega-6
Ácidos grasos poliinsaturados esenciales	Ácido α -linolénico (18:3 ω -3) (ALA)	Ácido linoleico (18:2 ω -6) (LA)
Ácidos grasos poliinsaturados no esenciales	Ácido eicosapentaenoico (EPA) Ácido docosahexaenoico (DHA)	Ácido gammalinolénico (GLA) Ácido araquidónico (AA)

Riekkinen y colaboradores (2022) analizaron el efecto que tienen los sustratos sobre la composición de ácidos grasos de los insectos comestibles, por lo que en los procesos de cría de insectos, la optimización de la composición y la estructura

del sustrato aunado con las condiciones de cría pueden ayudar a la estandarización nutricional de los insectos comestibles (Riekkinen et al., 2022). El Ahuautle y el Axayacatl son ricos como fuente de ácidos grasos (*Tabla 7*) incluyendo ácidos grasos esenciales.

Tabla 7. Contenido de ácidos grasos del Axayacatl y el Ahuautle (g/100 g de muestra seca).

Acido graso	Axayacatl (Pino Moreno & Ganguly, 2016)	Ahuautle (Pino Moreno & Ganguly, 2016)	Ahuautle (Sanchez et al., 2022)
C6:0 (Caproico)	Nd	Nd	Nd
C8:0 (Caprilico)	Nd	Nd	Nd
C10:0 (Caprilico)	0.01	Nd	Nd
C12:0 (Laurico)	Nd	*	Nd
C14:0 (Miristico)	0.28	0.13	0.14 ± 0.0003
C14:1 (Miristoleico)	Ndt	Ndt	Nd
C15:0 (Pentadecanoico)	Ndt	Ndt	0.09 ± 0.002
C15:1 (<i>cis</i> -10-Pentadecanoico)	Ndt	Ndt	Nd
C16:0 (Palmitico)	2.25	1.44	4.07 ± 0.01
C16:1 (Palmitoleico)	Ndt	Ndt	2.17 ± 0.03
C17:0 (Heptadecanoico)	Ndt	Ndt	0.47 ± 0.006
C17:1 (<i>cis</i> -10-Heptadecenoico)	Ndt	Ndt	0.27 ± 0.005
C18:0 (Estearico)	0.40	0.63	0.50 ± 0.03
C18:1n9t (Elaidico)	2.53	1.47	2.01 ± 0.01
**C18:2n6c (Linoleico)	0.43	1.17	Nd
C18:2n6t (Linolelaidico)	Ndt	Ndt	1.31 ± 0.01
C18:3n6 (γ -Linolenico)	0.40	0.13	1.78 ± 0.03

**C18:3n3 (α -Linolenico)	Ndt	Ndt	0.33 \pm 0.004
C20:1n9 (<i>cis</i> -11-Eicosenoico)	Ndt	Ndt	Nd
24 C20:3n3 (<i>cis</i> -11, 14, 17-Eicosatrienoico)	Ndt	Ndt	0.08 \pm 0.001
C20:4n6 (Aracnidonico)	Ndt	Ndt	0.68 \pm 0.02
16 C20:5n3 (<i>cis</i> -5, 8, 11,14, 17- Eicosapentaenoico)	Ndt	Ndt	0.86 \pm 0.02
C22:6n3 (<i>cis</i> -4, 7, 10, 13, 16, 19-Docosahexanoico)	Ndt	Ndt	0.14 \pm 0.06

* Detectados en cantidades menor a 0.00; Nd: No detectado; Ndt: No determinado; ** Ácidos grasos esenciales.

II.9.5. Compuestos bioactivos

Los compuestos fenólicos son uno de los grupos con actividad biológica más diversos e importantes de la naturaleza; tanto es así, que actualmente se consideran ingredientes esenciales en la preparación de alimentos, principalmente por su capacidad antimicrobiana y antioxidante (Farhadi et al., 2019). Estos compuestos fenólicos se caracterizan por su estructura básica, que consiste en un anillo bencénico unido al menos a un radical hidroxilo, debido a la presencia de grupos hidroxilo en su estructura, los compuestos fenólicos tienen la capacidad de donar hidrógenos o electrones y quelar iones metálicos, lo que hace que actúen como compuestos antioxidantes pero también pueden actuar en la actividad de varias enzimas metabólicas inhibiendo las acciones de las enzimas α -amilasa, α -glucosidasa y dipeptidil peptidasa IV, que les confiere propiedades antidiabéticas (De Paulo Farias et al., 2021). Este grupo incluye compuestos como los ácidos fenólicos, los flavonoides y los taninos (Vuolo et al., 2019). Los compuestos fenólicos ejercen diversas bioactividades vinculadas a enfermedades crónicas, como antioxidantes, antiinflamatorias, anticancerígenas, antihipertensivas, actividades antiulcerosas, antialérgicas, antimicrobianas y analgésicas (Daglia, 2012; De Matos et al., 2024). Los efectos

beneficios proporcionados por los compuestos fenólicos se deben principalmente a sus interacciones con las proteínas (Poklar Ulrich, 2017).

La presencia de estos compuestos en los insectos comestibles es, por tanto, muy relevante y se ha convertido en objeto de investigación en relación con su papel como fuente de nutrición, especialmente porque estos compuestos también pueden proporcionar color y sabor a las comidas preparadas, añadiendo más valor y utilidad desde la perspectiva de la industria alimentaria. (Rosales-Escobar et al., 2018). Actualmente, los fenoles de insectos sólo se han ensayado para la bioactividad antioxidante. Sin embargo, su bioactividad general frente a la oxidación, la inflamación, la hipertensión y la inhibición de la glucemia se atribuye ampliamente a fracciones de proteínas y péptidos en insectos como los grillos tropicales de banda (*Grylloides sigillatus*), el gusano de la harina (*Tenebrio molitor*) y la langosta del desierto (*Schistocerca gregaria*). Además, la posibilidad de otras actividades bioactivas es prometedora debido a los compuestos fenólicos que se encuentran en los insectos (Nino, Reddivari, Osorio, et al., 2021). Otro estudio confirma la presencia de fenólicos dietéticos en *Acheta domesticus* cultivado pudiendo ser capaz de absorber o secuestrar los fenólicos dietéticos, según los resultados observados en este estudio, los fenólicos y las proteínas pueden contribuir a la actividad antioxidante de los extractos. (Nino, Reddivari, Ferruzzi, et al., 2021). En un estudio realizado por Sanchez et al. (2022) determinó que el contenido de compuestos bioactivos como fenoles, flavonoides, capacidad antioxidante (ABTS y DPPH) y ácidos grasos de los huevos de los insectos acuáticos del orden Hemiptera de la familia Corixidae pueden variar dependiendo del lugar donde sean recolectados (Sanchez et al., 2022). Por lo que este estudio pretende obtener a los Coríxidos adultos (*Krizousacorixa femorata*) para cambiarles la dieta a nivel laboratorio y analizar los compuesto bioactivos de sus huevos.

III. HIPÓTESIS

La dieta en la ingesta del Axayácatl influirá sobre los componentes bioactivos en sus huevos (Ahuautle), siendo significativamente diferente a las cantidades obtenidas en condiciones naturales.

IV. OBJETIVOS

IV.1. Objetivo General

Demostrar que los compuestos bioactivos en el Ahuautle están influenciados por el tipo de la ingesta de los Corixidos (*Krizousacorixa femorata*).

IV.2. Objetivos particulares

- Caracterizar los compuestos bioactivos del Ahuautle de la zona del Lago de Texcoco colectados en época de lluvia.
- Identificar la dieta, el comportamiento y las condiciones de cultivo en laboratorio de los insectos acuáticos colectados del Lago de Texcoco.
- Obtener los huevos de los insectos acuáticos bajo diferentes dietas en laboratorio y caracterizar su composición funcional, así como identificar su especie.

V. METODOLOGÍA

V.1. Ubicación geográfica de colecta

Los organismos adultos de *Krizousacorixa femorata* (Hemíptera: Corixidae) fueron extraídos de una charca del Lago de Texcoco de agua dulce conocido también el lugar por el recolector lacustre como el **humedal Teplecayeca** (Figura 3). Las coordenadas de este humedal son 19°34'04.8"N 98° 58' 26.6" W. Se realizaron cuatro muestreos en un periodo de dos años para completar la investigación de esta tesis.

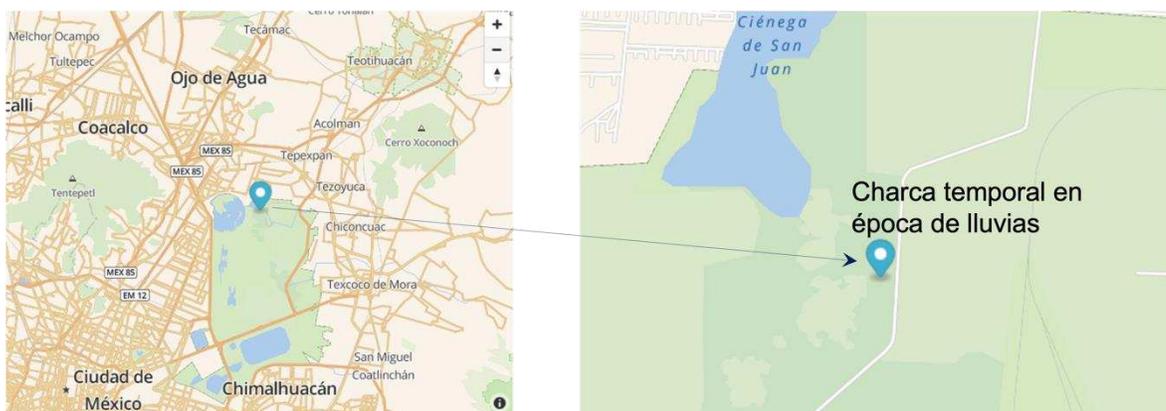


Figura 3. Charca temporal del lago de Texcoco donde fueron extraídos los insectos acuáticos en épocas de lluvias.

V.2. Condiciones de calidad del agua del lugar de la charca

Las condiciones de la calidad de agua donde fueron recolectados los organismos acuáticos fueron medidas en campo; estas variables fueron la temperatura, el oxígeno disuelto, el pH, la conductividad, la salinidad y los sólidos totales disueltos (STD) con un medidor multifunción de análisis de agua, modelo AZ-86031 de la marca AZ instruments (Figura 4). Así mismo, se determinó la profundidad de la charca con un flexómetro. Las variables de calidad de agua potable del laboratorio fueron promediados los valores medidos semanalmente

durante el experimento y para el muestreo de la charca del lago de Texcoco fueron tomados en tres puntos diferentes donde se hizo un barrido para la recolecta de los insectos acuáticos. Estos valores fueron registrados con la media \pm la desviación estándar.



Figura 4. Medición de calidad de agua y pesca del barquero del agua.

V.3. Recolección de *Krizousacorixa femorata* (Hemíptera: Corixidae)

La recolección de los insectos acuáticos se realizó con el apoyo de una red acuática que pertenece al señor Rafael Villanueva (recolector de Ahuautle con 40 años de experiencia), misma que fue construida por varios recolectores al paso de los años (No se tienen especificaciones de la red). La red mide aproximadamente 1.20 m de largo y 40 cm de ancho de forma rectangular. La manera en la que se pesca este insecto acuático es haciendo un barrido con la red, recorriendo la charca, para posteriormente ser depositados los organismos en una bandeja plástica de 60 litros con agua de la charca (*Figura 5*). Una vez que los organismos se llevaron al laboratorio, los organismos fueron separados, el criterio que fue tomado para elegir la especie de Corixidos a estudiar fue considerado por la abundancia de la especie *Krizousacorixa femorata* en comparación con otras presentes en la charca, además de

tomar en cuenta la experiencia de los recolectores obtenida por entrevistas (Figura 5).



Figura 5. Recolección y manejo de *Krizousacorixa femorata* (Hemiptera: Corixidae).

V.4. Crecimiento y comportamiento de *Krizousacorixa femorata* (Hemiptera: Corixidae) en el laboratorio

Una vez que la especie de interés (*Krizousacorixa femorata*) fue separada de otras especies de hemípteros y otros órdenes de insectos acuáticos. Los Corixidos fueron puestos en bandejas plásticas rectangulares con capacidad de tres litros de agua tomada directamente del grifo del laboratorio (Figura 6). Se colocaron de tres a cinco organismos de *Artemia franciscana* viva diariamente como alimento por cada organismo de *K. femorata* y al observar puesta de huevos desde el primer día, se comenzaron a realizar pruebas de puestas de huevo, eclosión, preferencia de alimento, temperatura y oxígeno disuelto en agua.



Figura 6. Adultos de la familia Corixidae (*Krizousacorixa femorata*) o también conocido como "barquero del agua", "Axayácatl" o "boteros".

Los organismos adultos colocaron sus huevos en el difusor de oxígeno disuelto (Figura 7a) llevando a cabo el proceso de maduración del huevo al paso de los días hasta completar el tiempo de incubación y llegar a la eclosión. Una vez dada la eclosión se les colocó en el agua alimento como *Alga spirulina* seca obtenida del lago de texcoco, así como también se ofreció *Artemia franciscana* viva (Figura 7e).

V.4.1. Puesta de huevos de *Krizousacorixa femorata*

Se realizaron pruebas de eclosión con diferentes temperaturas y salinidades, así como pruebas de eclosión con dos tipos de agua (agua de la llave y agua de la charca) y buscamos si había algún efecto en desprender los huevos o no de la piedra difusora (Figura 7a).



Figura 7. Proceso desde la puesta de huevo de *Krizousacorixa femorata* hasta

eclosionar y tomar alimento.

V.4.2. Prueba de temperatura para eclosión de huevos

Se probaron cuatro temperaturas (20, 24, 28 y 32 °C) controlando temperatura con termostatos con control de temperatura. La prueba se realizó con 10 huevos introducidos en un frasco de vidrio pequeño con 50 ml de agua potable sin aireación y sin recambio de agua. Las pruebas se realizaron por triplicado en un tiempo de 15 días y la temperatura se corroboró dos veces al día con el medidor multifunción de análisis de agua, modelo AZ-86031 de la marca AZ instruments para validar que los termostatos tuvieran un buen funcionamiento.

V.4.3. Prueba de salinidad para eclosión de huevos

Se probaron cinco valores de salinidad (0, 10, 20, 30 y 40 ppt) en cajas de petri con agua. El agua salada se preparó con sal de mar debido a que de acuerdo con Alcocer y Hammer (1998) la salinidad del lago de Texcoco contiene mayoritariamente la sal NaCl (Alcocer y Hammer, 1998) La prueba se realizó con 30 huevos con las condiciones de salinidad ya mencionadas, sin aireación y sin recambio de agua. Las pruebas se realizaron en un tiempo de 15 días y la salinidad se midió al inicio y fin del experimento con el medidor multifunción de análisis de agua, modelo AZ-86031 de la marca AZ instruments.

V.4.4. Prueba de manipulación de los huevos de *K. femorata*

El objetivo de esta prueba de manipulación de los huevos de *K. femorata* fue determinar si existía algún efecto si el huevo era desprendido de la piedra difusora, o bien si era mejor dejarlo pegado para no afectar el porcentaje de eclosión. El número de huevos utilizados para esta prueba fueron 30 con tres repeticiones para cada prueba.

V.4.5. Pruebas de puesta de huevo de *K. femorata*

Peters (1964) sugiere que el cultivo de *K. femorata* puede hacerse colocando una sola pareja, un macho y una hembra en una botella de vidrio con un cuarto de galón de agua de estanque con algas de agua dulce expuestas a la luz solar y después de 24 horas se pueden retirar los huevos blancos adhesivos en diversas partes de plantas acuáticas (W. P. Peters, 1964), sin embargo, se hicieron algunas modificaciones a esta metodología, primero, se identificaron a los Corixidos adultos y segundo, en 500 ml de agua de la llave fueron colocados una hembra y un macho y tercero, estos organismos fueron alimentados con 10 artemias por día y recambio de agua diario. Esto con la finalidad de que la hembra colocará sus huevos en ramas de *Casuarina equisetifolia* dentro del contenedor de agua. Esta prueba se repitió con diez parejas de *K. femorata* en un periodo de tres días y se tomaron los datos del número de huevos puestos por pareja/ día.

V.4.6. Pruebas de crecimiento en población de *K. femorata*

Se realizó un experimento por triplicado colocando 50 organismos de *K. femorata* en el primer estadio ninfal en contenedores plásticos con 500 ml de agua con alimento (una *A. franciscana* / organismo) con la finalidad de observar su comportamiento en población.

V.4.7. Ciclo de vida

Las pruebas anteriores se hicieron con el objetivo de dar las mejores condiciones del *K. femorata* para seguir su ciclo de vida en laboratorio. Por lo que las condiciones utilizadas para realizar esta prueba fue tomar agua de la llave a temperatura ambiente con recambio diario. Se

colocaron de 1 a 3 artemias vivas por día como alimento. Se colocó un organismo en una caja de petri con 40 ml de agua tomando los datos del tiempo de incubación y cada estadio ninfal. Se siguió el ciclo de vida de 100 organismos.

V.4.8. Preferencias de dieta

Después de la eclosión de *K. femorata* (Figura 7d), los organismos fueron muy pequeños incluso para observarlos de forma directa, por lo que fue difícil observar cuando se alimentaban. Sin embargo, la Figura 7e fue tomada con un estereoscopio y se observa como la ninfa de primer estadio ninfal se pega de la *Artemia franciscana* hasta consumirla por completo. Para determinar la cantidad de alimento que requiere *K. femorata* en los primeros estadios nifales se ofrecieron dos dietas diariamente durante tres días; la primera fue *Artemia franciscana* con diferente número de artemias vivas (1, 2 y 3) cada una se hizo con cinco réplicas que fueron colocadas en una caja de petri con 40 ml de agua potable. La segunda dieta fue *Alga spirulina* spp. en la que se colocó 1 organismo en 500 ml de agua potable con aireación y 30 mg de *Alga spirulina* spp., esto se realizó con 5 réplicas durante 3 días y para el control se hizo lo mismo pero sin alimentar a los organismos. Al determinar la dieta de los organismos acuáticos se plantean las características de la unidad experimental.

V.5. Características de la unidad experimental

Se proponen 3 dietas para ofrecer a los adultos y obtener los huevos de Ahuautle; La descripción de los tratamientos se mencionan a continuación en la *Tabla 8*.

Tabla 8. Tratamientos con variación en la dieta de los adultos de *K. femorata* para obtener los huevos de Ahuautle.

Tratamientos con sus replicas	Tratamientos
A1, A2, A3	Tratamiento dieta <i>Alga spirulina</i> spp. seca obtenida del lago de Texcoco. Se añadieron 10 g diario.
AR1, AR2, AR3	Tratamiento dieta <i>Artemia franciscana</i> obtenida de forma comercial. Se ofrecieron 20 g de Artemia viva a cada contenedor.
AA1, AA2, AA3	Tratamiento mezcla <i>Alga spirulina</i> spp. + Artemia. 5 g Alga + 15 g de Artemia viva.
C1, C2, C3	Para las muestras control, cuatro días antes del muestreo se colocaron las hojas de casuarina en la charca del lago de Texcoco para posteriormente tomar tres muestras de las ramas con el huevo.

Los tratamientos fueron colocados completamente al azar (Figura 8b) en unas bandejas plásticas cuadradas con capacidad de 3 litros de agua potable, además de tener aireación constante y la temperatura fue ambiental. En estas bandejas se colocaron 250 *corixidos* adultos (Figura 8d) (entre hembras y machos), se utilizaron ramas de *Casuarina* para favorecer la puesta de los huevos. El alimento se ofreció diariamente y no hubo recambio de agua (Figura 8d). Las bandejas se airearon constantemente utilizando difusores de oxígeno y bombas de acuario. Para comparar los componentes bioactivos de los tratamientos, se utilizó un control obtenido de la charca del lago de Texcoco (Figura 8c).

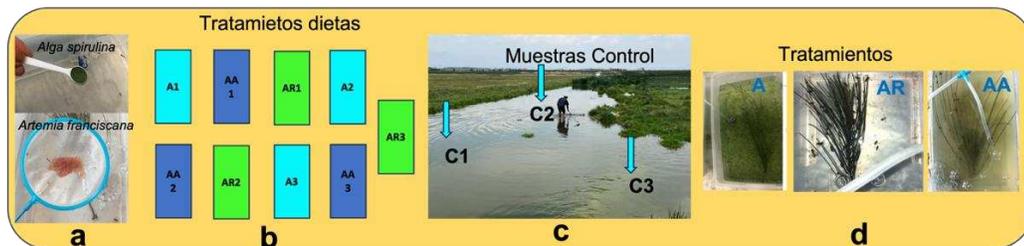


Figura 8. Unidad experimental para obtener a los huevos de los adultos de *K. femorata*

bajo tres tratamientos donde se varia la dieta.

V.6. Cosecha de los huevos de *K. femorata*

Diariamente se cambiaron las ramas de *Casuarina equisetifolia* en los contenedores de los tratamientos y se ponían a secar los huevos a temperatura ambiente durante 5 días para depues ser desprendidos y analizados (*Figura 9*) .



Figura 9. Cosecha de huevos de *K. femorata* (Ahuautle).

Para la metodología de analizar los compuestos bioactivos del huevo se siguió el diagrama de flujo de la *Figura 10*. La cual se divide en tres bloques, primero se caracterizaron los componentes funcionales del huevo comercial (se consiguieron tres muestras de diferentes estados de México) con la finalidad de obtener información nutricional del huevo (Sanchez et al., 2022). En segundo lugar, se colectaron los insectos acuáticos que dan los huevos del Ahuautle conocidos como barqueros del agua de la familia Corixidae con la finalidad de conocer las condiciones de cultivo base para obtener los huevos y finalmente se midieron algunos compuestos biactivos a los huevos.



Figura 10. Metodología general del experimento de tesis para obtener el huevo de “Ahuautle” rico en compuestos bioactivos.

V.7. Caracterización de los compuestos bioactivos del Ahuautle de la zona del Lago de Texcoco

Se llevaron a cabo los análisis de la composición proximal compuestos fenólicos, flavonoides totales, el contenido de taninos condensados y ácidos grasos en tres muestras de Ahuautle de diferentes estados de México, esto fue con la finalidad de explorar el tipo de compuestos bioactivos de interés con los que cuenta el huevo de Ahuautle con las metodologías mencionadas en la *Figura 11* y previo a montar la unidad experimental de esta tesis.

V.7.1. Compuestos fenólicos y actividad antioxidante

Los análisis llevados a cabo para caracterizar el huevo de Ahuautle recolectados en lago de Texcoco que se utilizó como Control y los huevos obtenidos de la unidad experimental con los diferentes tratamientos fueron los compuestos fenólicos, flavonoides totales, el contenido de taninos condensados y ácidos grasos. Siguiendo a cabo el diagrama de la *Figura 11*.

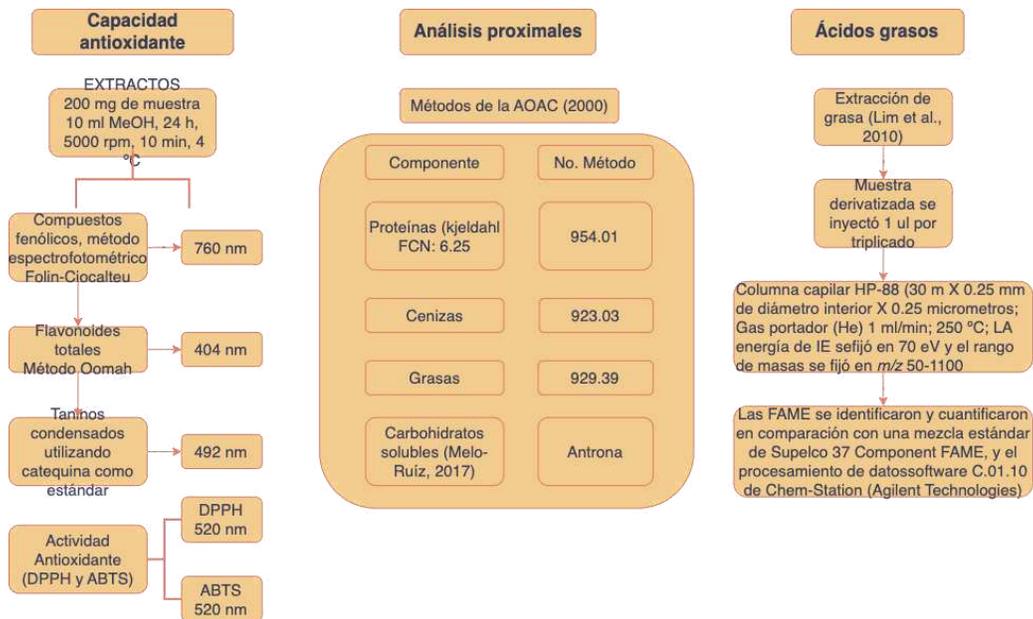


Figura 11 Diagrama de la caracterización de compuestos bioactivos del Ahuautle (Elaboración propia).

V.7.2. Determinación de los Análisis proximales

Para la determinación de análisis proximales se siguieron los métodos reportados por “Association of Official Analytical Chemists” (AOAC, 2000).

V.7.2.1. Determinación de la grasa

1 Los equipos y reactivos utilizados fueron: balanza analítica (Precisa, mod. XT220A), Soxhlet (Foss Tacator, mod. Avanti2055), cartuchos de celulosa, matraz bola de 250 ml. El método utilizado fue gravimétrico tomado del manual de la AOAC con el número de método 929.39¹ y se basó en una extracción de la grasa de la muestra en un disolvente orgánico (Éter etílico).¹ El disolvente se evapora de nuevo, asciende, se condensa, vuelve a caer sobre la muestra y así durante un tiempo hasta que junto a la grasa disuelta, se recoge en el matraz bola, donde finalmente se evapora el disolvente y sólo queda la grasa. La pesada por

diferencia entre el matraz vacío y el matraz con la grasa nos da la cantidad que contiene la muestra analizada. El disolvente se elimina y el residuo se seca y se pesa.

V.7.2.2. Determinación de carbohidratos

Para el contenido total de carbohidratos disponibles se siguió la metodología de (Melo-Ruíz et al., 2017) en combinación con el método Clegg-Anthrone (Nollet, 2004). Llevando a cabo el siguiente procedimiento: Primero; la muestra (0.1 g) se puso a digerir con 5 ml de ácido clorhídrico 2.5 N en un baño de agua a 90 °C durante 3 horas. Esto con la finalidad de hidrolizar los disacáridos, los trisacáridos y los oligómeros más altos a sus azúcares reductores. Luego, las muestras se neutralizaron con carbonato de calcio y se diluyeron a 50 ml con agua destilada. Enseguida, las muestras se centrifugaron; posteriormente, se tomó una alícuota del sobrenadante (1 ml) para reaccionar con el reactivo de antrona (4 ml) en un baño de agua hirviendo durante 8 minutos. El reactivo de antrona se preparó disolviendo el 0.2 % (p/v) de antrona en ácido sulfúrico concentrado. La absorbancia de la mezcla de reacción se midió a 630 nm. La dextrosa se utilizó para construir una curva estándar para la cuantificación, y los resultados se expresan como una media de g/100 g de base seca de la muestra y las muestras fueron analizadas por triplicado.

V.7.2.3. Determinación de proteínas

Para la determinación de proteínas se siguió el método número 954.01, utilizando un factor de conversión de 6.25. Este método permite determinar el contenido de proteína cruda a partir del contenido en nitrógeno. La muestra es digerida por el ácido sulfúrico en presencia de Selenio y Sulfato de Cobre II como catalizadores, de forma que todos los

componentes nitrogenados de la misma son transformados en Nitrógeno inorgánico en forma de ión amonio. Mediante la destilación en medio fuertemente básico el amonio se transforma en gas amoniaco, el cual es recogido en ácido bórico. La posterior titulación con ácido clorhídrico permite el cálculo de la cantidad de Nitrógeno presente en la muestra. Los equipos y reactivos utilizados son: balanza analítica (Precisa, mod. XT220A), destilador (Büchi, mod. B-324), digestor Kjeldalh (Büchi, mod. K-424), campana extractora, ácido bórico (Panreac, España), ácido clorhídrico 0.1N (Panreac, España), ácido sulfúrico 90-91% (Panreac, España), ácido sulfúrico 95-97% (Baker, Holanda), catalizador Kjeldahl (Merck, Alemania), hidróxido de sodio (Panreac, España). Para expresar el contenido de proteínas de la muestra analizada es necesario multiplicar la cantidad de nitrógeno por un factor variable según el tipo de muestra analizada, en este caso para insectos se utilizó el factor para frutas y verduras de 6.25.

V.7.2.4. ⁵ Determinación de cenizas

Para la determinación de cenizas se siguió el método 923.03 de la AOAC. Primero la muestra se calcina/incinera después de su desecación, a 550°C en el horno mufla y se calcula el residuo de incineración por diferencia de peso. Los equipos y reactivos utilizados son: Balanza analítica (Precisa, mod. XT220A), Horno Mufla(Selecta, mod. Select-horn), Desecador, pinzas y crisoles. Los resultados se expresan como porcentaje de cenizas calculado, según la siguiente expresión:

$$\% \text{Cenizas} = [(\text{Peso final} - \text{Peso inicial}) / \text{Peso muestra}] \times 100$$

V.8. Determinación de los Ácidos grasos

El perfil de ácidos grasos fue determinado por la técnica de cromatografía de gases y espectrometría de masas (GC-MS) siguiendo parte de la metodología de Lim (Lim et al., 2010); en donde los huevos de Ahuautle fueron secados y triturados en pequeñas partículas utilizando un mortero. La *Figura 12* muestra la metodología de extracción de los ácidos grasos para poder caracterizarlos en el cromatógrafo.

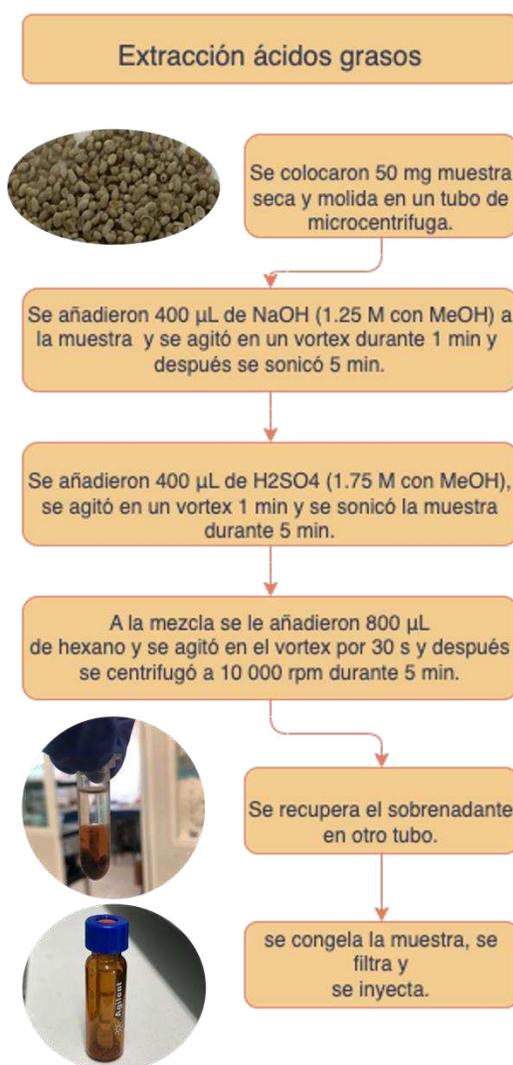


Figura 12. Metodología para extraer los ácidos grasos de la muestra de Ahuautle

(Elaboración propia).

Los sobrenadantes de la muestra se prepararon con el disolvente y se derivaron. Posteriormente, 1 μL de la muestra se inyectó por triplicado en un cromatógrafo de gases Agilent (GC) serie 7890A (Wilmington, DE, EE. UU.) acoplado a un solo detector de espectrómetro de masas cuadrúpoleal (MS) (Agilent 5975C) equipado con una fuente de ionización. La velocidad de flujo del gas portador (helio) se mantuvo en 1 ml/min.³ La temperatura del inyector se estableció en 250 °C en modo sin división. Se utilizó una columna capilar HP-88 (30 m \times 0.25 mm de diámetro interior \times 0.25 μm). La temperatura inicial del horno fue de 50 °C, que se mantuvo durante 1 minuto, y luego se elevó a 175 °C a 15 °C min^{-1} , luego se elevó a 240 °C a 1 °C min^{-1} y se mantuvo durante 5 minutos. La energía de la IE se estableció en 70 eV, y el rango de masa se estableció en m/z 50-1100. Los FAME se identificaron y cuantificaron en comparación con un estándar Supelco 37 Component FAME Mix, y el procesamiento de datos se realizó utilizando el software Chem-Station (Agilent Technologies) versión C.01.10.

⁶¹ V.9. Análisis Estadístico y Diseño experimental

El diseño de los tratamientos fue completamente al azar. Los resultados de los análisis estadísticos se expresan¹² como la media de tres repeticiones con su desviación estándar. El cálculo estadístico se realizó con el software científico © 2024 GraphPad Software. Para las determinaciones de los compuestos bioactivos se compararon⁴² las medias de los tratamientos mediante el método de Tukey y también se utilizó una prueba t de Student con un $\alpha \leq 0.05$ para el caso de los componentes que estuvieron presentes en dos de los cuatro grupos (tratamientos).

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

VI.1. Resultados de las variables de calidad de agua

La *Tabla 9* muestra los resultados obtenidos del agua (media±desviación estándar) que se utilizó en el laboratorio para el manejo de los insectos acuáticos y se muestra también las variables de calidad de agua de la charca donde fueron muestreados los insectos. En general las principales diferencias fue la concentración de oxígeno disuelto y los sólidos totales disueltos.

Tabla 9. Variables de calidad de agua de *Krizousacorixa femorata*.

Variabes de calidad de agua	Agua potable utilizada en el laboratorio	Agua de la charca del lago de Texcoco
Temperatura (°C)	22.96 ± 0.71	24.13 ± 0.29
Oxígeno disuelto (mg l ⁻¹)	5.73 ± 1.50	11.16 ± 0.25
Salinidad (ppt)	0.51 ± 0.04	0.69 ± 0.03
Conductividad (µS/cm)	1015 ± 53.57	1539 ± 80.43
Sólidos totales disueltos (mg l ⁻¹)	507.66 ± 27.64	935.66 ± 134.44
pH	8.03 ± 0.32	8.17 ± 0.27
Profundidad (cm)	na	62.33 ± 11.93

na: No aplica; ppt: partes por trillón; µS: microsiemens.

VI.1.1 Resultados de la prueba de temperatura para eclosión de huevos de *K. femorata*

Los resultados del porcentaje de eclosión de los huevos de *K. femorata* a diferentes temperaturas mostró que la mejor temperatura fue a 24.1±0.5°C con un porcentaje de eclosión de 40±10%, seguido los tratamientos con temperatura de 27.8±1.6°C y 20.5±0.5°C con un porcentaje de eclosión de 16.6±5.7% y 13.3±5.7% respectivamente. En el caso del tratamiento con temperatura de 32.2±0.5 °C no mostró eclosión de ningún organismo; mismos resultados se pueden observar en la *Figura*

13. Peters y Spurgeon (1971) mencionan que ya sea en la naturaleza o en el laboratorio un clima templado parece ser una fuerza activadora para la puesta de huevos también.

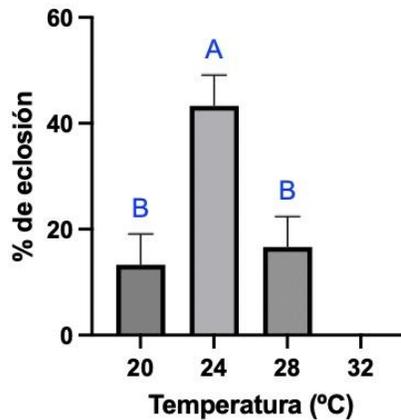


Figura 13. Grafico del porcentaje de eclosión de los huevos de *Krizousacorixa femorata* probando cuatro temperaturas diferentes.

Estos resultados confirman el proceso de eclosión que describe Peters y Spurgeon (1971) donde mencionan el proceso de eclosión de los huevos cuando éstos son mantenidos en agua a temperatura ambiente, primero experimentan un cambio gradual de color, pasando del blanco opaco original a un color crema y luego a marrón y a los 4 días aparecen dos manchas oculares de pigmentación oscura bajo la superficie del huevo, aproximadamente a medio camino entre los polos (Figura 14) (W. Peters & Spurgeon, 1971), aunque en nuestros resultados las manchas oculares aparecieron entre el sexto y octavo día.

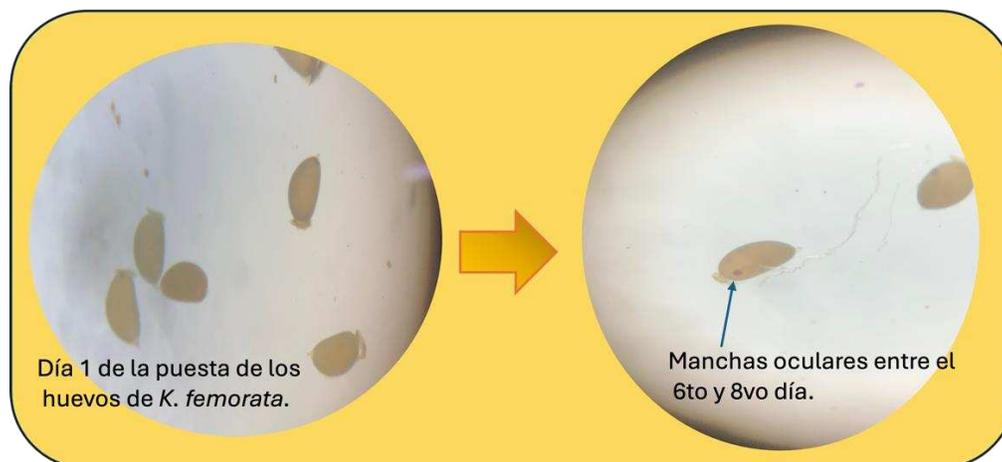


Figura 14. Puesta de huevos de *K. femorata* a temperatura ambiente (24 °C).

VI.1.2. Resultados de la prueba de salinidad para la eclosión de los huevos de *K. femorata*

La media \pm desviación estandar de los tratamientos a diferentes salinidades fueron: 0.67 ± 0.18 , 11.42 ± 1.01 , 21.40 ± 0.87 , 31.82 ± 1.18 y 41.96 ± 1.25 en partes por mil (ppt) (o bien, 0.06 ± 0.01 , 1.14 ± 0.10 , 2.14 ± 0.08 , 3.18 ± 0.11 y 4.19 ± 0.12 en % de salinidad). La *Figura 15* muestran los resultados en cuanto al porcentaje de eclosión a diferentes salinidades del huevo de *K. femorata*. El mejor resultado de eclosión se tuvo con la salinidad de 0.67 ± 0.18 , con un % de eclosión del 33.3% que es estadísticamente significativo respecto al tratamiento de la salinidad de 11.42 ± 1.01 que tuvo un 6.7% de eclosión. Para los demás tratamientos no se presentaron eclosiones (*Figura 15*). Los resultados sugieren que *K. femorata* eclosiona a salinidad de 0.67 ± 0.18 ppt, misma salinidad proveniente del agua potable del laboratorio. No existe mucha evidencia científica sobre la capacidad de *K. femorata* de crecer en aguas salubres, sin embargo, según Hungerford (1948) los Corixidae crecen bien en sitios poco profundos, alcalinos y salinos con suelos blandos y fangosos con vegetación y materia orgánica en descomposición. Pero Peters (194) menciona que *K. femorata* puede colocar sus huevos en agua de

estanque con algas de agua dulce (W. P. Peters, 1964), aunque no mencione nada sobre salinidad en el agua, se puede sobre entender que *K. femorata* crece en agua dulce y este estudio lo confirma. También, en un estudio reciente en aguas salubres donde se recolecta Ahuautle, no se encuentra presente *K. femorata* (González-Santoyo et al., 2020), por lo que los resultados de esta tesis tienen una aseveración importante sobre la especie de *K. femorata* sugiriendo que no eclosiona en aguas salubres, misma observación la confirman los recolectores del lago de Texcoco con más de cuarenta años de experiencia recolectando Ahuautle tanto de agua salada como de agua dulce y comentaron que esta especie solo se da en charcas temporales en épocas de lluvia con salinidades de las charcas de 0.69 ± 0.03 ppt.

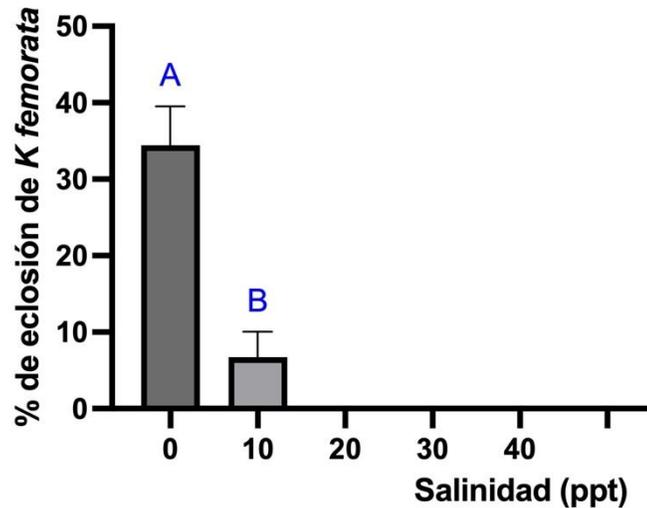


Figura 15. Grafico del porcentaje de eclosión de *K. femorata* a diferentes salinidades.

VI.2. Resultados de la prueba de manipulación de los huevos de *K. femorata*

Los resultados de esta prueba se reportan en promedio \pm la desviación estandar del porcentaje de eclosión de los huevos. Para la prueba donde los huevos no fueron manipulados, es decir se dejaron en la piedra difusora pegados hasta su eclosión, el porcentaje de eclosión fue de $36.7 \pm 6.7\%$ y para la prueba en la que se desprendieron los huevos de la piedra difusora y se incubaron desprendidos fue de $41.1 \pm 6.9\%$ (Figura 16). Estos resultados sugieren que los huevos pueden ser manipulados y son capaces de incubarse en diferentes sustratos y como lo menciona Peters y Spurgeon que los huevos de *K. femorata* pueden ser puestos en diferentes sustratos como en raíces sumergidas de los sauces, en la superficies y tallos de las plantas acuáticas y semiacuáticas (W. Peters & Spurgeon, 1971).

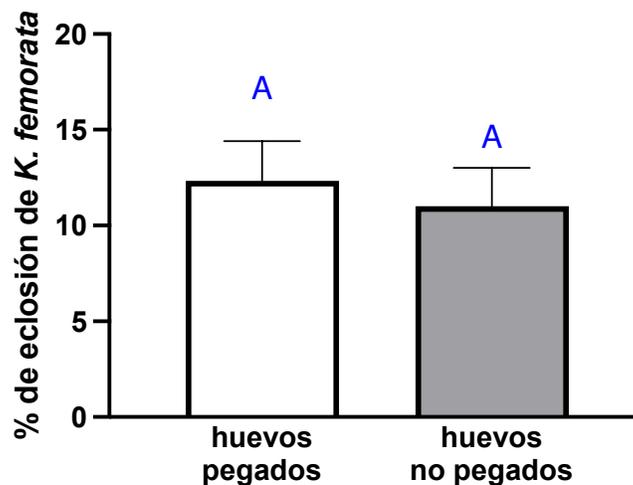


Figura 16. Grafico del porcentaje de eclosión manipulando los huevos de *K. femorata*.

VI.2.1. Resultados de la prueba del número de huevos puestos diariamente por las hembras de *K. femorata*

33 Los resultados de esta prueba se muestran en la *Figura 17*. Estos resultados muestran el comportamiento de cada pareja, respecto a la puesta de huevos diariamente. Sin embargo de forma general, de las diez parejas de corixidos en tres días pusieron un total de 635 huevos, teniendo un promedio general de 21.16 ± 6.82 de huevos puestos por día/ pareja. En la metodología que Peters sugiere colocar como alimento algas de agua dulce (W. P. Peters, 1964) sin embargo, no se siguió ese método debido a que se hicieron las pruebas con *Alga spirulina* spp. como alimento, no obstante, se observó canibalismo en las parejas. Por lo que, se decidió colocar *Artemia franciscana* y esto permitió llevar a cabo la prueba para contabilizar la cantidad de huevos colocados por hembra. Por otro lado, es difícil comparar con otros estudios de cuántos huevos coloca *K. femorata* por día, porque no se han realizado experimentos con esta especie desde hace más de medio siglo, no obstante, de los pocos estudios que existen con otras especies de Corixidos se ha observado que varía la cantidad de los huevos puestos de acuerdo a la temperatura del agua, Sweeney y Schnack (1977) comentan que hay una afectación en la puesta de huevos a temperaturas entre 2-8 °C y también mencionan que las hembras comienzan a poner huevos en laboratorio después de 48 horas después de un calentamiento (Sweeney & Schnack, 1977). Estos resultados indican que el desarrollo sexual y la puesta de huevos ocurren bajo condiciones termicas apropiadas. 50 En el caso de este experimento, 12 la temperatura del agua a temperatura ambiente que se midió cada 30 minutos en el periodo de los tres días del experimento se comportó a 20.03 ± 0.71 °C. En un estudio con el experimento de laboratorio que llevó Céspedes y colaboradores (2019) con la especie *Trichocorixa verticallis* de la familia Corixidae en donde reporta una tasa de oviposición promedio de 11,5 huevos al día con un rango de 7 a 24.8

huevos al día a 23.2 °C, se puede señalar que se requieren más estudios con otras especies de corixidos para inferir si la especie influye en la cantidad de la puesta de huevos por día ya que en este estudio las hembras de *K. femorata* producen mayor cantidad de huevos respecto al estudio de Céspedes y colaboradores (Céspedes et al., 2019).

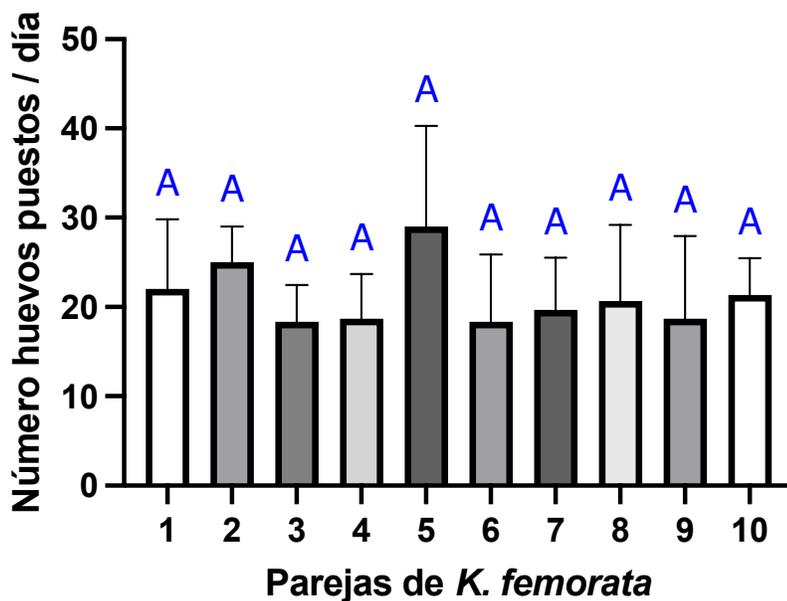


Figura 17. Grafico del número de huevos puestos diariamente por *K. femorata* a 20 °C.

Cabe mencionar que los huevos fueron contados los días del experimento a las 8:00 am debido a que si los dejaba más tiempo con los adultos, éstos se los comían, observándose canibalismo con los huevos a pesar de tener suficiente alimento de *A. franciscana*. Aunque con exactitud no se sabe si tanto la hembra como el macho consumían los huevos, según Pajunen y Pajunen (1991) las hembras son las que destruyen sus huevos aunque haya alimento en abundancia y alguna posible explicación es que lo hacen por competencia consumiendo los huevos de otras hembras (Pajunen & Pajunen, 1991), en cualquier caso, los resultados de esta tesis no sugiere que el motivo sea la competencia, debido a que solo había una pareja

(hembra-macho) en cada contenedor y no era posible que hubiera huevos de otras hembras. Así, como tampoco se determinó si sólo las hembras consumían sus huevos o también los machos debido a que no se monitoreo, además la puesta de huevos solo lo hacían por la madrugada, nunca de día.

VI.2.2. Resultados de la prueba de crecimiento en población de *K. femorata*

Durante la prueba se observó canibalismo en los organismos llegando de los 150 organismos (50 para cada réplica) solo dos al segundo estadio ninfal y un organismo al tercer estadio ninfal, todos los días habían organismos muertos pese a que tenían suficiente alimento, entre ellos se comían. Por lo que en este estudio no fue posible criar a los organismos de *K. femorata* bajo condiciones de laboratorio en población, hasta el momento no se han encontrado estudios donde se críen este tipo de insectos acuáticos en masa, sin embargo, se tiene evidencia de que en condiciones silvestres logran reproducirse y llegar a la etapa adulta sin problema y obtener grandes masas de estos insectos acuáticos, por lo que estos resultados sugieren llevar a cabo los protocultivos como lo menciona Ramos y Blásquez que consiste en el cuidado de los nidos o en este caso de los cuerpos de agua (Ramos & Blásquez, 2000). Hasta el momento tanto el Lago de Cuitzeo y el Lago de Texcoco se consideran un recurso económico importante de pesca inusual (Alcocer & Hammer, 1998; González-Santoyo et al., 2020). Mismos que se encuentra en peligro porque las poblaciones de los hemípteros han disminuido en las últimas décadas por cuestiones de sequías, sumándose que existen pocos recolectores que conocen las técnicas de extracción y manipulación tanto de los adultos como de los huevos (moscos y Ahuautle).

VI.2.3. Ciclo de vida

Los resultados de la *Tabla 10* muestran los días transcurridos en cada estadio ninfal de *K. femorata*. Cada etapa fue determinada por el proceso de mudación (*Figura 18*). A partir del cuarto estadio ninfal no se pudieron obtener datos debido a que los organismos no fueron capaces de sobrevivir en condiciones de laboratorio para completar su ciclo y llegar a ser adultos. Incluso el último organismo de *K. femorata* murió a los 17 días quedándose en el cuarto estadio ninfal. El estudio de Céspedes y colaboradores con la especie *Trichocorixa verticalis* de la familia Corixidae observó un tiempo de generación de unos 54 días desde el huevo hasta el adulto, lo que sugiere que *T. verticalis* y los rangos para cada estadio ninfal fueron muy amplios (primer estadio ninfal, 10-10; segundo, 23-24; tercero 23-31; cuarto 24-31 y quinto 29-34) (Céspedes et al., 2019).

Tabla 10. media + desviación estandar de los días transcurridos de cada estadio ninfal del ciclo de vida y el rango de mudas de K. femorata.

	Rango de muda en días	días
Tiempo de incubación	6-15	11.63 ± 2.45
1er estadio ninfal	7-15	11.20 ± 2.08
2do estadio ninfal	5-17	10.5 ± 3.55
3er estadio ninfal	8-20	12.37 ± 4.17
4to estadio ninfal	17- sin dato	17
5to estadio ninfal	Sin datos	Sin datos
adulto	Sin datos	Sin datos

La *Figura 18* muestra la muda de *K. femorata*, proceso que los organismos solo lo hacían de madrugada y solo dos ocasiones se observó el proceso de mudación pero en una de ellas el organismo murió antes de desprenderse de la muda.



Figura 18. Proceso de cambio de estadio ninfal de *K. femorata* por medio de la muda.

VI.2.4. Preferencia de la dieta de *K. femorata*

Los resultados del número de *A. franciscana* ofrecidas en primer estadio ninfal se observan en el gráfico de la *Figura 19*. Estos resultados muestran que una artemia es suficiente alimento para un día, debido a que algunas ocasiones habían residuos de artemia no consumida para el caso donde de las pruebas se colocaron 2 y 3 artemias. Esto mismo se repitió para determinar cuánto alimento ofrecer hasta cuarto estadio ninfal y el tope fueron 5 artemias sin dejar residuos, ya que si se les ofrecía más alimento a los organismos de *K. femorata* solo mataban a las artemias pero no las consumían por completo.

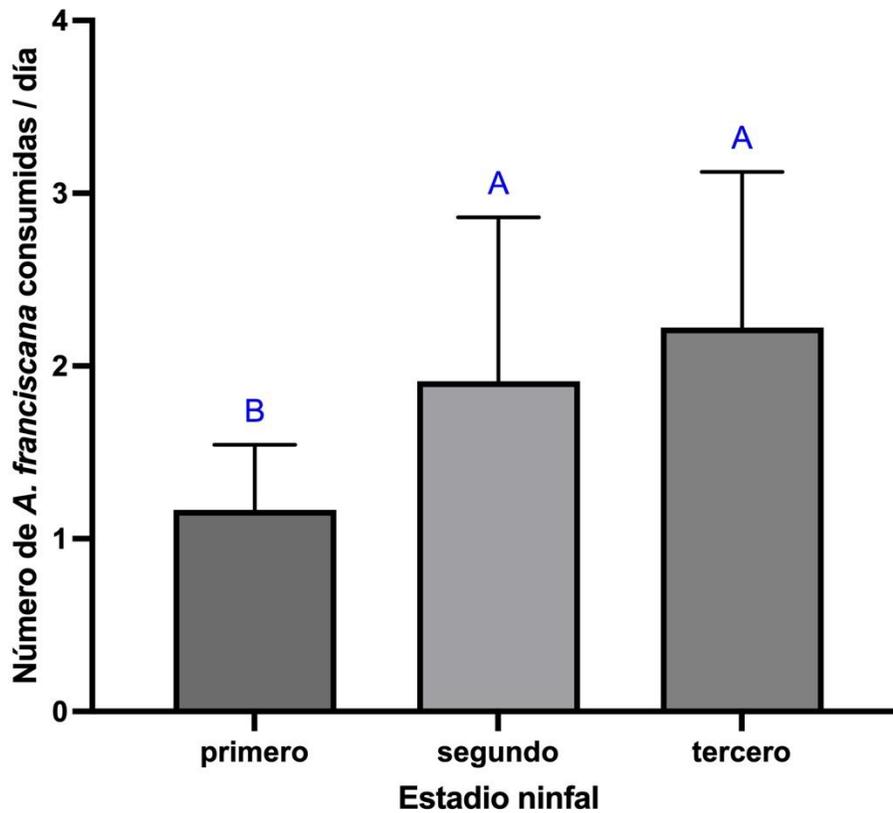


Figura 19. Gráfico del número de Artemias consumidas en un día en los primeros tres estadios ninfales de *K. femorata*.

En el caso de la alimentación de *K. femorata* con *Alga espirulina* al no poder observar si las ninfas de *K. femorata* se comen el alimento o no, debido a que los organismos son muy pequeños en el primer estadio ninfal (aprox. 1 mm) se determinó por la supervivencia al utilizar un control sin alimento y el tratamiento fue añadir *Alga spirulina* spp.; cabe mencionar que se optó por utilizar un volumen de 500 ml de agua para poder airearla, debido a que cuando se coloca el alga sin airear todos los organismos mueren debido a que el oxígeno disuelto se consume. En este sentido se puede observar en la *Figura 20* que las ninfas del primer estadio ninfal si consumen el *Alga spirulina* spp. como alimento, ya que se mantienen vivas durante sus primeros tres días de vida, mientras que la mayoría de las ninfas que no se alimentaron mueren al segundo día por hambre.

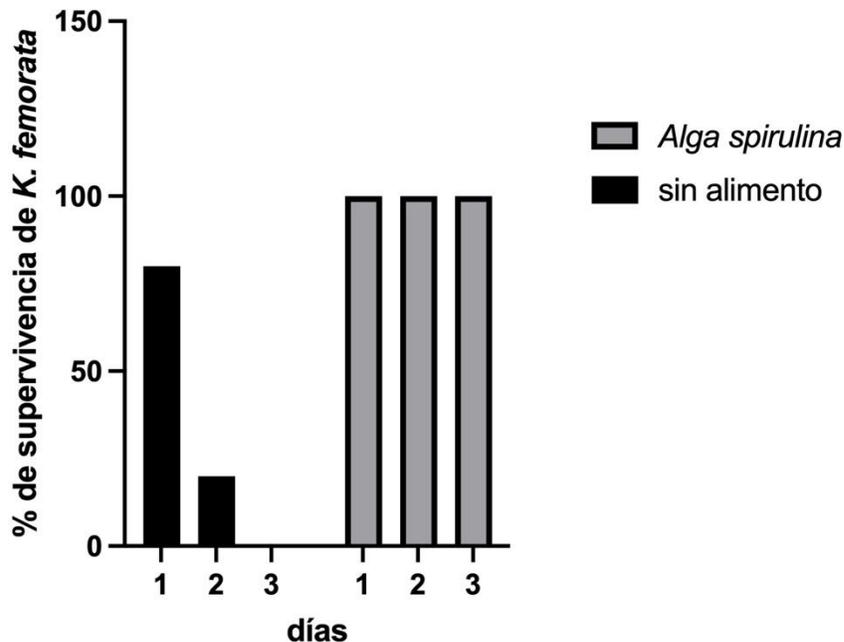


Figura 20. Grafico de organismos vivos con alimento (*Alga spirulina* spp.) y sin alimento (control).

De acuerdo con Reynolds (1975), según las el tipo de especie de corixidos tienen preferencias a ciertas dietas, en el caso de *Krizousacorixa femorata* la dieta que prefiere es carnívora y de algas. Hasta ahora su dieta ha sido controvertida aunque existen pruebas observacionales tanto de depredación como de fitófagos (Reynolds, 1975). En general, se ha reportado que presentan una amplia variedad de hábitos alimenticios ya que pueden ser herbívoros, detritívoros, carnívoros y omnívoros (Jansson & Scudder, 1972; Zwart, 1965). Algunos estudios en diferentes lagos se ha observado que cuando hay una mayor abundancia de Corixidae, las poblaciones de *Artemia* spp. disminuyen, siendo evidencia de que forma parte de su dieta (Jansson & Scudder, 1972; Shadrin et al., 2019). Estos resultados sugieren que *K. femorata* consume bien tanto algas como *A. franciscana*.

Una vez realizadas las pruebas anteriores, se montó el diseño experimental colocando los diferentes tratamientos variando la dieta de los adultos de *K. femorata* y se observó canibalismo en los tres tratamientos de *Alga spirulina* spp. (A), *Alga spirulina* spp.-*Artemia franciscana* (AA), *Artemia franciscana* (AR). También se observó que en los tratamientos AR y AA que contenían *Artemia franciscana*, los organismos de *K. femorata* duraron hasta 10 días vivos, mientras que el tratamiento de *A. spirulina* spp., la población duró solo 6 días, pudiendo notar que a falta de organismos vivos que comer, el canibalismo se intensificó en este tratamiento.

VI.3. Resultados de compuestos bioactivos

Los compuestos bioactivos se midieron tanto en muestras comerciales del Ahuautle como en los huevos obtenidos en laboratorio bajo los tratamientos (A, AA y AR).

VI.3.1. Resultados de compuestos bioactivos en diferentes muestras comerciales de Ahuautle

³⁶ La *Tabla 11* muestra los resultados del Análisis proximal de tres muestras de Ahuautle obtenidas de diferentes estados (Michoacán, Lago de Texcoco e Hidalgo). La *Tabla 12*⁴⁵ muestran los resultados de los fenoles totales, flavonoides y taninos en las muestras. Estos resultados ya fueron publicados (Sanchez et al., 2022), sin embargo, se mencionan porque ayudaron a elegir qué compuestos bioactivos se iban a medir en la obtención de los huevos bajo los tratamientos de las diferentes dietas (A, AA, y AR) de *K. femorata* en el laboratorio. Se puede observar que el componente mayoritario en los huevos (Ahuautle) en todas las muestras es el contenido proteico, seguido las grasas, los carbohidratos y las cenizas coincidiendo con los estudios

de (Gonzalo Fernández, 1989; Ramos Elorduy et al., 1998; Ramos-Elorduy et al., 1997) que el Ahuautle proporciona gran parte de proteínas, pero también es fuente de ácidos grasos, entre ellos de la serie omega-3 y omega-6 (Pino Moreno & Ganguly, 2016; Sanchez et al., 2022).

Tabla 11. Macronutrientes en tres muestras diferentes de huevos de Corixidae (g/100 g base seca) (Sanchez et al., 2022).

Ahuautle	Cenizas	Grasas	Proteínas	Carbohidratos	Valor calórico (kcal/ 100 g)
AMT	5.485±0.226 ^C	14.356±0.009 ^A	72.641±0.128 ^B	7.516±0.060 ^A	450
AMC	7.798±0.643 ^B	11.523±0.223 ^B	74.37±0.186 ^A	6.957±0.0964 ^B	430
ALT	10.97±0.017 ^A	9.195±0.003 ^C	72.47±0.126 ^B	7.364±0.082 ^A	400

Los análisis se realizaron por triplicado y la tabla muestra la media con DE. Medias con letras diferentes en la misma columna son estadísticamente diferentes (T-Student $\alpha \leq 0.05$) Proteína por Kjeldahl NX6.25. Kcal = datos teóricos. AMC: muestra de huevos de Corixidae de Hidalgo, México; AMT: muestra de huevos de Corixidae de Michoacán, México; ALT: muestra de huevos de Corixidae del Estado de México (lago de Texcoco).

Por otro lado, no se encontraron estudios reportados del Ahuautle con contenido de otros compuestos bioactivos, por lo que estos datos se tuvieron que generar y se muestran en la **Error! Reference source not found.** 12. La nomenclatura es la siguiente: AMC: muestra de huevos de Corixidae de Hidalgo, México; AMT: muestra de huevos de Corixidae de Michoacán, México; ALT: muestra de huevos de Corixidae del Estado de México (Lago de Texcoco) (Sanchez et al., 2022). Se observan diferencias significativas entre las muestras de huevo de Corixidos cuando se compararon las concentraciones de Fenoles totales, flavonoides y Taninos condensados.

Tabla 12. Contenido de compuestos fenólicos en extractos de metanol en Ahuautle (Sanchez et al., 2022).

Muestra de Ahuautle	Fenoles mg GAE/ g muestra	Flavonoides mg RE/ g muestra	Taninos condensados mg CE/ g muestra
AMT	99.92 ± 0.13 ^C	2.732 ± 0.1014 ^A	0.01614 ± 0.003 ^B
AMC	855.12 ± 0.52 ^A	1.698 ± 0.117 ^B	0.0251 ± 0.0034 ^A
ALT	125.52 ± 0.05 ^B	1.396 ± 0.268 ^B	0.01594 ± 0.0038 ^B

mg GAE/g muestra (mg equivalentes de ácido gálico/ g sample); mg RE/g sample (rutina equivalentes/g muestra); mg CE/g muestra (mg Equivalentes de catequina/g muestra). La media representa el valor de 3 repeticiones. Las medias con letras distintas en la misma columna son estadísticamente diferentes. AMC: muestra de huevos de Corixidae de Hidalgo, México; AMT: muestra de huevos de Corixidae de Michoacán, México; ALT: muestra de huevos de Corixidae del Estado de México (Lago de Texcoco).

VI.3.2. Resultados de compuestos fenólicos en los huevos de *K. femorata* bajo diferentes dietas

Los huevos de *Krizousacorixa femorata* bajo diferentes dietas mostraron diferencias significativas entre los tratamientos de los compuestos fenólicos totales que se muestran en la Tabla 13 y Figura 21. Se observó que el control muestra mayor concentración de fenoles, seguido el tratamiento de *A. spirulina* spp.-*A. franciscana*, después *A. franciscana* y finalmente el tratamiento de *A. spirulina* spp..

Tabla 13. Contenido de compuestos fenólicos en extractos de metanol en huevos de Corixidae (*Krizousacorixa femorata*) en diferentes tratamientos donde se varió la dieta (mg GAE/muestra) ± SD.

Tratamiento	Fenoles mg GAE/ g muestra
<i>Alga spirulina</i> spp.	31.516±7.317 ^C
<i>Alga spirulina</i> spp. y <i>Artemia franciscana</i>	54.287±4.764 ^B
<i>Artemia franciscana</i>	45.891±3.729 ^{BC}
Control	120.371±21.564 ^A

mg GAE/g muestra (mg equivalentes de ácido gálico/ g sample). La media representa el valor de 3 repeticiones. Las medias con letras distintas en la misma columna son estadísticamente diferentes. A: huevos bajo dieta de *Alga spirulina* spp.; AA: huevos bajo dieta de *Alga spirulina* spp.-*Artemia franciscana*; AR: huevos bajo dieta *Artemia franciscana*; C: Control obtenido del Lago de Texcoco.

Una observación que se hizo en campo al momento de muestrear tanto a los huevos como a los adultos de *K. femorata* fue que la charca de agua, donde fueron extraídos los Corixidos tenía una gran variedad de insectos acuáticos como ácaros acuáticos, larvas de libélulas, algunos Efímeros, Heterópteros como nadadores de espalda (Notonectidae), Escarabajos acuáticos, entre otros. Con esta observación, se puede decir que los Barqueros del agua que son depredadores tenían una gran diversidad de alimento bajo condiciones silvestres, a esto se suma que el agua era rica en algas (por su coloración verdosa) y plantas acuáticas. Además, a los alrededores se observaban un gran número de aves, vacas y becerros que pudieran fertilizar el agua. Ante estas observaciones, los resultados sugieren que cuando la dieta de los Barqueros del agua es mixta (Carnívora y algas) favorece la concentración de fenoles totales, esto pudiera explicar porque después del control el tratamiento que más fenoles dio fue el de la mezcla (*A. franciscana*-*A. spirulina* spp.).

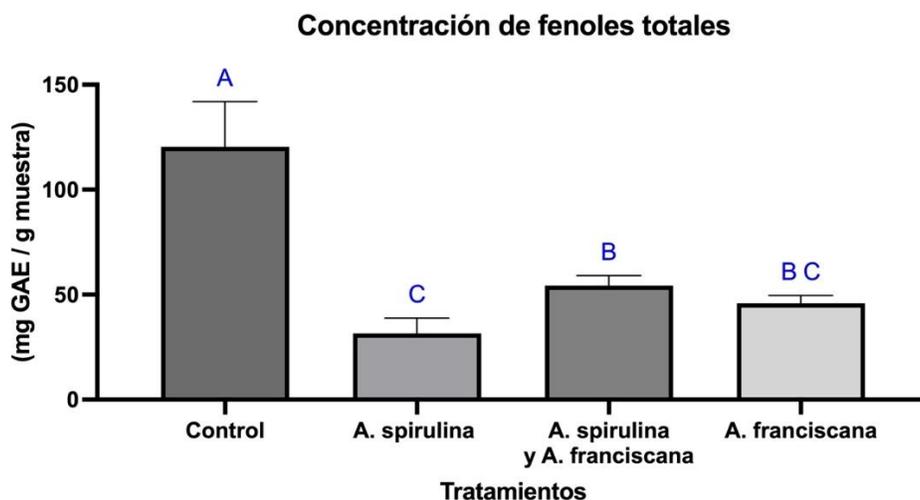


Figura 21. Grafico de la concentración de compuestos fenólicos en huevos de *K. femorata* obtenidos en diferentes dietas.

En este estudio podemos observar que los insectos acuáticos no solo proporcionan proteínas, grasas, carbohidratos, y minerales, también los insectos proporcionan vitaminas, ácidos nucleicos y fenoles. A pesar que los compuestos fenólicos se han considerado compuestos fitoquímicos que generalmente se originan en los vegetales, existen estudios que también están presentes en los insectos que pueden obtenerlos por medio de la dieta. Nino y colaboradores en un estudio publicaron que los insectos son capaces de sintetizar compuestos fenólicos e incorporarlos a su cutícula mediante el proceso de esclerotización (Nino, Reddivari, Osorio, et al., 2021). Este dato es importante desde el punto de vista de las aplicaciones que se le da a la Quitina en la industria de los alimentos por sus propiedades antimicrobianas y antifúngicas (Jantzen da Silva Lucas et al., 2020, 2021), pero también hay evidencia científica de que tienen actividad biológica antioxidante debido al contenido de compuestos fenólicos (Baek et al., 2019; Li et al., 2023; Mancini et al., 2019; Marín-Morales et al., 2022).

No se ha encontrado evidencia de análisis de compuestos fenólicos en huevos de insectos acuáticos, pero en un estudio que realizó Furneaux (1964) en huevo del grillo doméstico, *Acheta domesticus* (L.) encontró fenoles en el huevo del grillo como la tirosina, la DOPA, la DOPamina y la N-acetil DOPamina, éste ha sido el primer informe de 2-difenoles en huevos de insectos, además se menciona que la variación cuantitativa y la ubicación histoquímica de estas sustancias indican que están involucradas en la formación de la cutícula serosa (Furneaux, 1964). Ante estas evidencias se puede señalar que los compuestos bioactivos en insectos comestibles sigue siendo un campo emergente y aún no se ha explorado ampliamente en el contexto de

estudiar específicamente los compuestos fenólicos, sin embargo, las posibles propiedades bioactivas de los fenoles de los insectos sugieren que la entomofagia puede aportar a la dieta humana beneficios adicionales para la salud, aparte de su valor nutricional.

VI.3.3. Resultados de flavonoides y taninos condensados de los huevos de *K. femorata*

En general, tanto en el control como en los tratamientos no se detectaron concentraciones de flavonoides ni taninos condensados en ninguna muestra. Cabe mencionar que los resultados que muestra la *Tabla 11*, donde sí se reportan estos compuestos en Ahuautle, fueron de muestras comerciales que en la mayoría de los casos viene con mucha alga adherida al huevo (*Figura 22*). Según los recolectores de Ahuautle en las entrevistas realizadas, pueden dejar el huevo de 8 a 15 días en las ramas de *Casuarina equisetifolia* sumergidas en el agua para que se acumule gran cantidad de huevos y esto puede ocasionar que el huevo tenga una apariencia verdosa por el alga adherida (muestra AMC de la *Figura 22*). Este hecho a las muestras les confiere un aspecto diferente en color respecto a los huevos obtenidos en laboratorio o dejándolos poco tiempo en la charca (Ramas de casuarina con huevo en la *Figura 22*), lo que posiblemente sea un factor de la variación de las concentraciones de compuestos bioactivos, si el alga cuenta con ellos. Otro factor que puede afectar la composición de los huevos de los Barqueros del agua puede ser la dieta, al ser bastante variada bajo condiciones silvestres.



Figura 22. Apariencia de diferentes muestras de Ahuautle.

VI.3.4. Resultados de Ácidos grasos en huevo de *K. femorata* bajo diferentes tratamientos

La *Tabla 14* muestra que de los treinta y cuatro ácidos grasos que tenía el estándar para ácidos grasos, se detectaron dieciocho de ellos en el control, dieciseis ácidos grasos para los demás tratamientos (*Alga spirulina* spp., *A. spirulina* spp.-*A. franciscana* y *A. franciscana*). Los ácidos grasos mayoritarios en todos los tratamientos fueron ácido heptadecanoico, mirístico, linoléico, palmitoleico y miristoleico. Dos ácidos grasos sólo estuvieron presentes en el control (ácido cis-8,11,14-eicasatrienoico y el ácido nervónivo). En la comparación de las medias 40 hubo diferencias significativas entre los tratamientos en todos los ácidos grasos, excepto en el ácido caproico y cáprico. El tratamiento que estadísticamente no fue significativo respecto al control fue el tratamiento de la dieta de *A. spirulina* spp. en más de la mitad de los ácidos grasos encontrados, esto sugiere que el mejor tratamiento para obtener ácidos grasos semejantes al control fue el de la dieta de *Alga spirulina* spp.. Cabe señalar que el *Alga spirulina* spp. fue extraída del lago de Texcoco y pueda existir alguna influencia de esta alga para que se asemejen los datos al

control por estar presente junto con otros organismos acuáticos en la charca de donde se extrajeron los huevos de *K. femorata* como tratamiento Control.

Tabla 14. Contenido de ácidos grasos del Axayacatl y el Ahuautle (g/100 g de muestra seca).

Ácido graso	Control	<i>Alga spirulina</i> spp.	<i>Alga spirulina</i> spp. y <i>Artemia franciscana</i>	<i>Artemia franciscana</i>
C6:0 (Caproico)	0.0027±0.0007 ^A	0.0031±0.0005 ^A	0.0026±0.0018 ^A	0.0048±0.0000 ^A
C8:0 (Caprilico)	0.0042±0.0010 ^B	0.0051±0.0012 ^B	0.0022±0.0004 ^C	0.0077±0.0005 ^A
C10:0 (Cáprico)	0.0028±0.0005 ^A	0.0030±0.0010 ^A	0.0041±0.0004 ^A	0.0045±0.0004 ^A
C11:0 (Undecanoico)	0.0022±0.0003 ^B	0.0038±0.0011 ^A	0.0008±0.0002 ^{B,C}	0.0003±0.0001 ^C
C12:0 (Laurico)	0.0264±0.0036 ^A	0.0258±0.0073 ^A	0.0022±0.0010 ^B	0.0022±0.0007 ^B
C13:0 (Tridecanoico)	0.0141±0.0011 ^A	0.0114±0.0029 ^A	0.0015±0.0005 ^B	0.0014±0.0006 ^B
C14:0 (Mirístico)	0.3418±0.0578 ^A	0.3401±0.0847 ^A	0.0810±0.0174 ^B	0.0746±0.0205 ^B
C14:1 (Miristoleico)	0.1764±0.0238 ^A	0.1524±0.0361 ^A	0.0306±0.0068 ^B	0.0272±0.0081 ^B
¹³ C15:1 (<i>cis</i> -10- Pentadecanoico)	0.0341±0.0090 ^A	0.0295±0.0020 ^A	0.0015±0.0006 ^B	0.0042±0.0021 ^B
C16:0 (Palmitico)	0.0322±0.0046 ^A	0.0319±0.0029 ^A	0.0010±0.0005 ^B	0.0007 ± 0.00008 ^B
C16:1 (Palmitoleico)	0.2127±0.0376 ^A	0.1988±0.0521 ^A	0.0668±0.0151 ^B	0.0555 ± 0.0172 ^B
C17:0 (Heptadecanoico)	0.4991±0.0900 ^A	0.4482±0.1208 ^A	0.1129±0.0231 ^B	0.0759±0.0061 ^B
C18:0 (Esteárico)	0.1549±0.0294 ^A	0.1112±0.0315 ^B	0.0406±0.0086 ^C	0.0746±0.0037 ^C
C18:2n6c (Linoléico)	0.2888±0.0510 ^A	0.2401±0.0652 ^A	0.0716±0.0061 ^B	0.0534±0.0045 ^B
¹³ C20:2 (<i>cis</i> -11,14- icosadienoico)	0.0612±0.0083 ^A	0.0585±0.0153 ^A	0.0147±0.0037 ^B	0.0193±0.0095 ^B
C20:3n6 (<i>cis</i> -8,11,14- Eicosatrienoico)	0.0036 ± 0.0004	Nd	Nd	Nd
C20:4n6 (araquidónico)	0.0947±0.0185 ^A	0.1058±0.0272 ^A	0.0407±0.0097 ^B	0.0262±0.0074 ^B
C24:1n9 (Nervónico)	0.0059±0.0014	Nd	Nd	Nd

Nd: No detectado. Los valores del contenido ácidos grasos se expresan como la media \pm desviación estándar. Se hizo una múltiple comparación del contenido de cada ácido graso entre los tratamientos con la prueba de Tukey. Las diferentes letras en superíndice A, B, y C indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las muestras.

Los ácidos grasos linoléico (ω -6) y alfa linolénico (ω -3) son los ácidos grasos más importantes de la dieta humana porque el organismo no puede sintetizarlos (Ministerrådet, 2014). La Tabla 13 en todos los tratamientos se observa que está presente el ácido linoléico (ω -6) en los huevos de *K. femorata*, éste se obtuvo con mayor concentración tanto para el control como para el tratamiento de la dieta de *A. spirulina* spp., seguido los tratamientos *Alga spirulina* spp.- *Artemia franciscana* y *Artemia franciscana*. Estos resultados sugieren que el Ahuautle proporciona una fuente segura de ácido linoléico (ω -6).

Existe evidencia que tanto el *Alga spirulina* spp. (Ramirez & Olvera, 2006) como la *Artemia franciscana* (Malpica et al., 2004) son una fuente de ácidos grasos y en ambas está presente es ácido linoléico (ω -6) pero no necesariamente el ácido alfa-linolénico (ω -3). En un estudio hecho por Oonincx y colaboradores (2020) analizaron la composición lipídica de tres ordenes de insectos (*Acheta domesticus*, *Alphitibius diaperinus* y *Hermetia illucens*) suplementando su dieta con el 1%, 2% y 4% de aceite de linaza que se sabe que contiene alrededor del 57% de ácido alfa-linolénico (ω -3), en sus resultados observaron el mismo comportamiento en todos los insectos aumentando el contenido de ácido alfa-linolénico con un 4% de inclusión en la dieta pasando de 0.8% (sin suplementación de aceite de linaza) a 12.7%. Estos resultados junto con una revisión de Álvarez y colaboradores (2020) sugieren que es posible añadir una fuente de ácidos grasos ricos en ω -3 para mejorar la calidad nutricional de los insectos (Álvarez et al., 2020; Oonincx et al., 2020). Nuestros resultados sugieren que el *A. spirulina* spp., fue la mejor dieta porque mostró la mayor concentración

17 en la mayoría de los ácidos grasos presentes, debido a que estadísticamente no hubo diferencia significativa respecto al control. A pesar de que no se analizaron los ácidos grasos de *A. franciscana* y *A. spirulina* spp., existe evidencia científica que contienen entre el 11 y 31% de ácido linoléico para el *Alga spirulina* y entre 0.29 y 4.20% para *A. franciscana* (Malpica et al., 2004; Ramirez & Olvera, 2006). Los resultados de esta tesis bajo las condiciones ya mencionadas anteriormente se puede concluir que si influye la composición de la 38 dieta para mejorar la calidad nutricional de los huevos de *K. femorata*.

VII. CONCLUSIONES

La hipótesis de esta tesis es aceptada con los resultados contundentes de que existe una influencia de la dieta en la ingesta del Axayácatl sobre los componentes bioactivos en sus huevos (Ahuautle), siendo significativamente diferente a las cantidades obtenidas en condiciones naturales tanto en el contenido de fenoles como en ácidos grasos siendo la mejor dieta el *A. spirulina* spp., y seguida la dieta que contiene la mezcla *A. spirulina* spp. - *A. franciscana* para mejorar la calidad nutricional del Ahuautle. Aunque no fue posible obtener un cultivo de inicio (huevo) a fin (Adulto) monitoreando los estadios ninfales de *K. femorata* bajo condiciones de laboratorio, se proporciona información relevante en cuanto a la dieta, ciclo de vida, comportamiento, condiciones de calidad de agua bajo condiciones de laboratorio de *K. femorata* que no se habían estudiado y reportado anteriormente. Por otro lado, se requieren estudios adicionales para cuantificar la contribución específica de los compuestos fenólicos presentes en la cutícula, así como un contenido fenólico global de *K. femorata* y sus huevos. La conclusión de esta tesis sugiere los barqueros del agua y sus huevos pueden aportar a la dieta humana beneficios adicionales para la salud, aparte de su valor nutricional. Sin embargo, se necesitan más estudios para determinar si la cantidad de estos compuestos es suficiente para tener un impacto real tras su consumo.

VIII. REFERENCIAS

- Aires, D., Capdevila, N., & Segundo, M. J. (2005). Ácidos grasos esenciales. *Offarm*, 24(4), 96-102.
- Alcocer, J., & Hammer, U. T. (1998). Saline lake ecosystems of Mexico. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 1(3-4), 291-315. <https://doi.org/10.1080/14634989808656925>
- Álvarez, P.-J., Mateo, J., & Giráldez, J. (2020). Harina de grillo *Acheta domesticus*: Composición lipídica y posibilidades sobre su modificación por medio de la dieta. 18.
- Ancona, L. (1933). The ahuatele of Texcoco (in Spanish). *An Inst Biol Univ Nal Autón Méx*, 4(1), 51-69.
- AOAC, A. of O. A. C. (2000). *Official Methods of Analysis* (17th Edition).
- Aydoğan, Z., Şişman, T., İncekara, Ü., & Gürol, A. (2017). Heavy metal accumulation in some aquatic insects (Coleoptera: Hydrophilidae) and tissues of *Chondrostoma regium* (Heckel, 1843) relevant to their concentration in water and sediments from Karasu River, Erzurum, Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(10), 9566-9574.
- Baek, M., Kim, M., Kwon, Y., Hwang, J., Goo, T., Jun, M., & Yun, E. (2019). Effects of processing methods on nutritional composition and antioxidant activity of mealworm (*Tenebrio molitor*) larvae. *Entomological Research*, 49(6), 284-293. <https://doi.org/10.1111/1748-5967.12363>
- Belluco, S., Losasso, C., Maggioletti, M., Alonzi, C. C., Paoletti, M. G., & Ricci, A. (2013). Edible Insects in a Food Safety and Nutritional Perspective: A Critical Review: Insects in a food perspective.... *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(3), 296-313. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12014>
- Carbonell, J., Céspedes, V., Coccia, C., & Green, A. (2020). An experimental test of interspecific competition between the alien boatman *Trichocorixa verticalis* and the native corixid *Sigara lateralis* (Hemiptera, Corixidae). *Aquatic Invasions*, 15(2), 318-334. <https://doi.org/10.3391/ai.2020.15.2.07>
- Céspedes, V., Coccia, C., Carbonell, J. A., Sánchez, M. I., & Green, A. J. (2019). The life cycle of the alien boatman *Trichocorixa verticalis* (Hemiptera, Corixidae) in saline and hypersaline wetlands of south-west Spain. *Hydrobiologia*, 827(1), 309-324. <https://doi.org/10.1007/s10750-018-3782-x>
- Céspedes, V., Sánchez, M. I., & Green, A. J. (2017). Predator-prey interactions between native brine shrimp *Artemia parthenogenetica* and the alien boatman *Trichocorixa verticalis*: Influence of salinity, predator sex, and size, abundance and parasitic status of prey. *PeerJ*, 5, e3554.
- Chanu, C. M. (2022). Hatching Success and Egg Size of *Anisops sardeus* Herrich-Schaeffer (Heteroptera: Notonectidae): A Seasonal Study. *ECS Transactions*, 107(1), 12221.
- Chanu, C. M., Gupta, S., & Gupta, A. (2020). Life cycle and morphology of *Anisops sardeus* Herrich-Schaeffer, 1849 (Heteroptera: Notonectidae). *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 23(1), 253-259.
- Chaves-Ulloa, R., Taylor, B. W., Broadley, H. J., Cottingham, K. L., Baer, N. A., Weathers, K. C., Ewing, H. A., & Chen, C. Y. (2016). Dissolved organic carbon modulates

mercury concentrations in insect subsidies from streams to terrestrial consumers. *Ecological Applications*, 26(6), 1771-1784.

Clifford, H. F. (1991). *Aquatic invertebrates of Alberta*. University of Alberta.

Contreras Rivero, G., Navarrete Salgado, N. A., Elías Fernández, G., & Rojas Bustamante, L. Ma. (1999). Corixidos (Hemíptera, Corixidae) presentes en un estanque piscícola del Estado de México y su relación con algunos parámetros ambientales. 9(2).

Contreras Rivero, G., Navarrete Salgado, N. A., Fernández, G. E., & Rojas Bustamante, M. L. (2001). Aspectos ecológicos de los Corixidae (Hemiptera, Heteroptera) en el estanque piscícola "GL" de Soyaniquilpan de Juárez, Estado de México. *Hidrobiológica*, 11(1), 53-60.

Daglia, M. (2012). Polyphenols as antimicrobial agents. *Current Opinion in Biotechnology*, 23(2), 174-181. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2011.08.007>

De Matos, F. M., Rasesa, G. B., & De Castro, R. J. S. (2024). Insects as a sustainable source of emerging proteins and their processing to obtain bioactive compounds: An updated review. *Sustainable Food Technology*, 2(1), 19-31. <https://doi.org/10.1039/D3FB00097D>

De Paulo Farias, D., De Araújo, F. F., Neri-Numa, I. A., & Pastore, G. M. (2021). Antidiabetic potential of dietary polyphenols: A mechanistic review. *Food Research International*, 145, 110383. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110383>

Del-Claro, K., & Guillermo, R. (2019). *Aquatic insects*. Springer.

Dossey, A., Morales-Ramos, J., & Guadalupe Rojas, M. (2016). Documented information for 1555 species of insects and spiders. *Insects as sustainable food ingredients: production, processing and food applications*. Elsevier Academic Press, San Diego, 311-376.

Evans, J., Alemu, M. H., Flore, R., Frøst, M. B., Halloran, A., Jensen, A. B., Maciel-Vergara, G., Meyer-Rochow, V. B., Münke-Svendsen, C., Olsen, S. B., Payne, C., Roos, N., Rozin, P., Tan, H. S. G., van Huis, A., Vantomme, P., & Eilenberg, J. (2015). 'Entomophagy': An evolving terminology in need of review. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(4), 293-305. <https://doi.org/10.3920/JIFF2015.0074>

FAO. (2021). Looking at edible insects from a food safety perspective. Challenges and opportunities for the sector. *En Angewandte Chemie International Edition*.

Farhadi, F., Khameneh, B., Iranshahi, M., & Iranshahi, M. (2019). Antibacterial activity of flavonoids and their structure–activity relationship: An update review. *Phytotherapy Research*, 33(1), 13-40. <https://doi.org/10.1002/ptr.6208>

Furneaux, P. (1964). The phenols of the egg of the house cricket.

Gahukar, R. T. (2016). *Edible Insects Farming: Efficiency and Impact on Family Livelihood, Food Security, and Environment Compared With Livestock and Crops*. *En Insects as Sustainable Food Ingredients* (pp. 85-111). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802856-8.00004-1>

González-Santoyo, S., Alcocer, J., & Oseguera, L. A. (2020). The "mosco" (Hemiptera: Corixidae and Notonectidae) of Lake Cuitzeo, Mexico: an unusual inland water fishery. *Limnology*, 21(1), 119-127. <https://doi.org/10.1007/s10201-019-00590-2>

Gonzalo Fernández. (1989). *Evaluación de un recurso comestible autóctono propio de lagos alcalinos (Hemiptera: Corixidae-Notonectidae)*. Universidad Nacional Autónoma de México.

Hare, L. (1992). Aquatic insects and trace metals: Bioavailability, bioaccumulation, and toxicity. *Critical reviews in toxicology*, 22(5-6), 327-369.

Hungerford, H. (1948). The Eggs of Corixidae (Hemiptera). *Journal of the Kansas Entomological Society*, 21(4), 141-146.

Jansson, A., & Scudder, G. (1972). Corixidae (Hemiptera) as predators: Rearing on frozen brine shrimp. *Journal of the entomological Society of British Columbia*, 69, 44-45.

Jantzen da Silva Lucas, A., Menegon de Oliveira, L., da Rocha, M., & Prentice, C. (2020). Edible insects: An alternative of nutritional, functional and bioactive compounds. *Food Chemistry*, 311, 126022. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126022>

Jantzen da Silva Lucas, A., Quadro Oreste, E., Leão Gouveia Costa, H., Martín López, H., Dias Medeiros Saad, C., & Prentice, C. (2021). Extraction, physicochemical characterization, and morphological properties of chitin and chitosan from cuticles of edible insects. *Food Chemistry*, 343, 128550. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128550>

Kitsa, K. (1989). Contribution des insectes comestibles à l'amélioration de la ration alimentaire au Kasai-Occidental. *Zaire-Afrique: économie, culture, vie sociale*, 29(239), 511-519.

Koroiva, R., & Pepinelli, M. (2019). Distribution and habitats of aquatic insects. *Aquatic Insects: Behavior and Ecology*, 11-33.

Lancaster, J., & Downes, B. J. (2013). *Aquatic entomology*. OUP Oxford.

Li, H., Chumroenphat, T., Boonarsa, P., Yahuafai, J., Wrigley, C., & Siriamornpun, S. (2023). Evaluation of Roasting and Grilling Effects on Chemical Composition, Volatile Profiles, and Toxicity of Stink Bugs (*Tessaratoma papillosa*): Implications for Utilization as Functional Food Ingredients. *Foods*, 12(16), 3053. <https://doi.org/10.3390/foods12163053>

Lim, H. K., Tan, C. P., Karim, R., Ariffin, A. A., & Bakar, J. (2010). Chemical composition and DSC thermal properties of two species of *Hylocereus* cacti seed oil: *Hylocereus undatus* and *Hylocereus polyrhizus*. *Food Chemistry*, 119(4), 1326-1331. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.09.002>

Madau, F. A., Arru, B., Furesi, R., & Pulina, P. (2020). Insect farming for feed and food production from a circular business model perspective. *Sustainability*, 12(13), 5418.

Malpica, S. A., Castro, B. T., Sndoval, T. H., Castro, M. J., De Lara, A. R., & Castro, M. G. (2004, marzo). Composición del contenido de ácidos grasos en tres poblaciones mexicanas de *Artemia franciscana* de aguas epicontinentales. 52(1), 297-300.

Mancini, S., Fratini, F., Turchi, B., Mattioli, S., Dal Bosco, A., Tuccinardi, T., Nozic, S., & Paci, G. (2019). Former Foodstuff Products in *Tenebrio Molitor* Rearing: Effects on Growth, Chemical Composition, Microbiological Load, and Antioxidant Status. *Animals*, 9(8), 484. <https://doi.org/10.3390/ani9080484>

Manríquez, J. A. (1994). La digestibilidad como criterio de evaluación de alimentos—su aplicación en peces y en la conservación del medio ambiente. *Control de calidad de insumos y dietas acuícolas*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación—FAO Italia. 7p.

Marín-Morales, M. S., Ibarra-Herrera, C. C., Luna-Vital, D. A., Monribot-Villanueva, J. L., & Guerrero-Analco, J. A. (2022). Biological activity of extracts and hydrolysates from early- and adult-stage edible grasshopper *Sphenarium purpurascens*. *Frontiers in Nutrition*, 9, 1028543. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1028543>

Melo-Ruíz, V., Quirino-Barreda, T., Díaz-García, R., Falcón-Gerónimo, J., & Gazga-Urioste, C. (2017). Insects as Food from Deserted Areas in Mexico. *Journal of Applied Life Sciences International*, 13(4), 1-9. <https://doi.org/10.9734/JALSI/2017/35782>

Memtombi Chanu, C., Gupta, S., & Gupta, A. (2021). Seasonal variations in the life cycle and morphology of *Anisops breddini* (Hemiptera: Notonectidae). *Invertebrate Reproduction & Development*, 65(4), 246-255.

Ministerrådet, N. (2014). *Nordic Nutrition Recommendations 2012. Part 1. Summary, principles and use.* Nordiska ministerrådet.

Mirzakhani, M. K., Kenari, A. A., & Motamedzadegan, A. (2018). Prediction of apparent protein digestibility by in vitro pH-stat degree of protein hydrolysis with species-specific enzymes for Siberian sturgeon (*Acipenser baeri*, Brandt 1869). *Aquaculture*, 496, 73-78.

Nino, M. C., Reddivari, L., Ferruzzi, M. G., & Liceaga, A. M. (2021). Targeted phenolic characterization and antioxidant bioactivity of extracts from edible *Acheta domesticus*. *Foods*, 10(10), 2295.

Nino, M. C., Reddivari, L., Osorio, C., Kaplan, I., & Liceaga, A. M. (2021). Insects as a source of phenolic compounds and potential health benefits. *Journal of Insects as Food and Feed*, 7(7), 1077-1087. <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0113>

Nollet, L. M. L. (Ed.). (2004). *Handbook of Food Analysis: Volume 3 Methods, Instruments and Applications (0 ed.)*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781482276473>

Oonincx, D. G. A. B., Laurent, S., Veenenbos, M. E., & Loon, J. J. A. (2020). Dietary enrichment of edible insects with omega 3 fatty acids. *Insect Science*, 27(3), 500-509. <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12669>

Pajunen, V. I., & Pajunen, I. (1991). Oviposition and Egg Cannibalism in Rock-Pool Corixids (Hemiptera: Corixidae). *Oikos*, 60(1), 83. <https://doi.org/10.2307/3544996>

Peters, W. P. (1964). Inheritance of asymmetry in *Krizousacorixa femorata* (Guérin). *Genetica*, 34(1), 211-227. <https://doi.org/10.1007/BF01664190>

Peters, W., & Spurgeon, J. (1971). Biology of the Water-boatman *Krizousacorixa femorata* (Heteroptera: Corixidae). *American Midland Naturalist*, 86(1), 197. <https://doi.org/10.2307/2423700>

Pino Moreno, J. M., & Ganguly, A. (2016). Determination of fatty acid content in some edible insects of Mexico. *Journal of Insects as Food and Feed*, 2(1), 37-42. <https://doi.org/10.3920/JIFF2015.0078>

Poklar Ulrich, N. (2017). Analytical techniques for the study of polyphenol-protein interactions. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(10), 2144-2161. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1052040>

Ramirez, M. L., & Olvera, R. R. (2006, septiembre). Uso tradicional y actual de spirulina sp. (*Arthrospira* sp.). 31(9), 657-663.

Ramos, E., & Blásquez, E. (2000). La etnoentomología en la alimentación, la medicina y el reciclaje. Instituto de Biología, UNAM, Apartado Postal, 70-153.

Ramos Elorduy, J., Pino M. José Manuel, & Cuevas Correa, Socorro. (1998). Insectos comestibles del Estado de México y determinación de su valor nutritivo *Anales del Instituto de Biología*. 69(1), 65-104.

Ramos-Elorduy, J., Landero-Torres, I., Murguía-González, J., & Pino, J. M. (2008). Biodiversidad antropoentomofágica de la región de Zongolica, Veracruz, México. *Revista de Biología Tropical*, 56(1), 303-316.

Ramos-Elorduy, J., Manuel, J., Moreno, P., Prado, E. E., Perez, M. A., Otero, J. L., & Guevara, O. L. D. (1997). Nutritional Value of Edible Insects from the State of Oaxaca,

Mexico. En *JOURNAL OF FOOD COMPOSITION AND ANALYSIS* (Vol. 10, pp. 142-157).

Ramos-Elorduy, J., Pino, J., & Morales de León, J. (2002). Análisis químico proximal, vitaminas y nutrimentos inorgánicos de insectos consumidos en el estado de Hidalgo, México. *Folia entomologica mexicana*, 41(1), 15-29.

Reynolds, J. D. (1975). Feeding in corixids (Heteroptera) of small alkaline lakes in central B. C.: With 1 figure and 3 tables in the text. *SIL Proceedings*, 1922-2010, 19(4), 3073-3078. <https://doi.org/10.1080/03680770.1974.11896414>

Riekkinen, K., Väkeväinen, K., & Korhonen, J. (2022). The Effect of Substrate on the Nutrient Content and Fatty Acid Composition of Edible Insects. *Insects*, 13(7), 590. <https://doi.org/10.3390/insects13070590>

Rosales-Escobar, O. E., Villanueva-Bocanegra, B., Torres-Castillo, J. A., Arellano-Méndez, L. U., & Moreno-Ramírez, Y. D. R. (2018). Valor Antioxidante de la Grilleta *Pterophylla beltrani* para Suplementar Alimentos. *Southwestern Entomologist*, 43(2), 475-483. <https://doi.org/10.3958/059.043.0219>

Saavedra Garrido, J. (2018). Modelo depredador presa con función logística general y memoria con joroba.

Sanchez, M. de la L., Caltzontzin, V., & Feregrino-Pérez, A. A. (2022). Nutritional Composition, Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of Different Samples of Water Boatmen Eggs (Hemiptera: Corixidae). *Foods*, 12(1), 28. <https://doi.org/10.3390/foods12010028>

Savage, A. A. (1989). Adults of the British aquatic Hemiptera Heteroptera: A key with ecological notes. *Freshwater biological association*.

Schuh, R. T., & Slater, J. A. (1995). True bugs of the world (Hemiptera: Heteroptera): Classification and natural history. Cornell UNIVERSITY press.

Shadrin, N., Yakovenko, V., & Anufriieva, E. (2019). Suppression of *Artemia* spp.(Crustacea, Anostraca) populations by predators in the Crimean hypersaline lakes: A review of the evidence. *International Review of Hydrobiology*, 104(1-2), 5-13.

Sirichocktanap, P., & Chanput, W. P. (2022). Phenolic compounds from cricket powder and its protein extract after passing through the simulated in vitro digestion. *Journal of Food Science and Agricultural Technology (JFAT)*, 6(1), 62-66.

Srayko, S. H., Jardine, T. D., Phillips, I. D., & Chivers, D. P. (2022). Seasonal Mass Migration of Water Boatmen (Hemiptera: Corixidae) as a Wetland–River Linkage and Dietary Subsidy to Riverine Fish. *Ecosystems*, 25(7), 1571-1588. <https://doi.org/10.1007/s10021-021-00734-5>

Sutton, M. F. (1951). On the food, feeding mechanism and alimentary canal of Corixidae (Hemiptera, Heteroptera). 121(3), 465-499.

Sweeney, B. W., & Schnack, J. A. (1977). Egg Development, Growth, and Metabolism of *Sigara Alternata* (Say) (Hemiptera: Corixidae) in Fluctuating Thermal Environments. *Ecology*, 58(2), 265-277. <https://doi.org/10.2307/1935602>

van Huis, A. (2015). Edible insects contributing to food security? *Agriculture & Food Security*, 4(1), 20. <https://doi.org/10.1186/s40066-015-0041-5>

Vuolo, M. M., Lima, V. S., & Maróstica Junior, M. R. (2019). Phenolic Compounds. En *Bioactive Compounds* (pp. 33-50). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814774-0.00002-5>

Wang, J., Wang, C., Zhao, M., He, Z., Sun, L., & Feng, Y. (2019). Contents of mercury and selenium in common edible and medicinal insects in Yunnan and their correlation analysis. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 34(6), 1033-1040.

Williams, D. D., Williams, S. S., & van Huis, A. (2021). Can we farm aquatic insects for human food or livestock feed? *Journal of Insects as Food and Feed*, 7(2), 121-127. <https://doi.org/10.3920/JIFF2021.x002>

Yen, A. L. (2015). Insects as food and feed in the Asia Pacific region: Current perspectives and future directions. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(1), 33-55.

Zhao, M., Wang, C.-Y., Sun, L., He, Z., Yang, P.-L., Liao, H.-J., & Feng, Y. (2021). Edible Aquatic Insects: Diversities, Nutrition, and Safety. *Foods*, 10(12), 3033. <https://doi.org/10.3390/foods10123033>

Zwart, K. (1965). On the influence of some food substances on survival of Corixidae (Heteroptera). 411-412.

● 10% de similitud general

Principales fuentes encontradas en las siguientes bases de datos:

- 9% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 5% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

FUENTES PRINCIPALES

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	docplayer.es Internet	2%
2	naturalis.fcnym.unlp.edu.ar Internet	1%
3	ri-ng.uaq.mx Internet	<1%
4	hidrobiologica.izt.uam.mx Internet	<1%
5	macroestetica.com Internet	<1%
6	elementos.buap.mx Internet	<1%
7	www2.mdpi.com Internet	<1%
8	Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD,UNAD on 2021-09-06 Submitted works	<1%

9	hdl.handle.net Internet	<1%
10	biodiversity.eubon.eu Internet	<1%
11	researchgate.net Internet	<1%
12	uaq on 2023-10-23 Submitted works	<1%
13	bibliotecadigital.ipb.pt Internet	<1%
14	Janaina Sánchez García. "Desarrollo y caracterización de nuevas harin..." Crossref posted content	<1%
15	pt.scribd.com Internet	<1%
16	subpesca.cl Internet	<1%
17	CONACYT on 2016-09-19 Submitted works	<1%
18	Universidad Internacional de la Rioja on 2023-06-28 Submitted works	<1%
19	Daniel A. Jacobo-Velázquez, Gerardo Castellanos-Dohnal, Porfirio Cab... Crossref	<1%
20	repositorio.ug.edu.ec Internet	<1%

21	wiki2.org Internet	<1%
22	biorxiv.org Internet	<1%
23	agua.org.mx Internet	<1%
24	rodin.uca.es Internet	<1%
25	CONACYT on 2018-02-20 Submitted works	<1%
26	Renata Różyło, Monika Wójcik, Beata Biernacka, Dariusz Dziki. "Gluten-... Crossref	<1%
27	Universidad de Oviedo on 2022-10-27 Submitted works	<1%
28	redpav-fpolar.info.ve Internet	<1%
29	mayoclinic.org Internet	<1%
30	tandfonline.com Internet	<1%
31	Elsa Amparo Pons Bayarri. "Towards application of genetic engineerin... Crossref posted content	<1%
32	idoc.pub Internet	<1%

33	patents.google.com Internet	<1%
34	BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA BIBLIOTECA on ... Submitted works	<1%
35	Universidad Miguel Hernandez Servicios Informaticos on 2021-03-26 Submitted works	<1%
36	Universidad Nacional del Santa on 2018-10-09 Submitted works	<1%
37	doku.pub Internet	<1%
38	es.slideshare.net Internet	<1%
39	euroinnova on 2024-04-26 Submitted works	<1%
40	moam.info Internet	<1%
41	repositorio.uta.edu.ec Internet	<1%
42	bioline.org.br Internet	<1%
43	ebd.csic.es Internet	<1%
44	sap.org.ar Internet	<1%

45	utcj.edu.mx Internet	<1%
46	uv.mx Internet	<1%
47	Carlos Antonio Puig Mengual. "Remote Sensing and UAVs for the Geo..." Crossref posted content	<1%
48	Universidad Catolica San Antonio de Murcia on 2023-11-27 Submitted works	<1%
49	Universidad Continental on 2021-12-01 Submitted works	<1%
50	Universidad Nacional de Costa Rica on 2018-11-26 Submitted works	<1%
51	Universidad Peruana de Las Americas on 2021-11-29 Submitted works	<1%
52	Universidad Tecnica De Ambato- Direccion de Investigacion y Desarrol... Submitted works	<1%
53	Universidad de Costa Rica on 2020-07-08 Submitted works	<1%
54	University of College Cork on 2024-05-07 Submitted works	<1%
55	codiceinformativo.com Internet	<1%
56	dokumen.pub Internet	<1%

57	dspace.usalca.cl Internet	<1%
58	es.scribd.com Internet	<1%
59	euroinnova on 2023-11-27 Submitted works	<1%
60	ipn on 2024-05-09 Submitted works	<1%
61	kipdf.com Internet	<1%
62	lokjackgsb.edu.tt Internet	<1%
63	repositorio.lamolina.edu.pe Internet	<1%
64	repositorio.uti.edu.ec Internet	<1%
65	studylib.es Internet	<1%
66	jovenesenlaciencia.ugto.mx Internet	<1%