



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE AGUASCALIENTES

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE AGUASCALIENTES

CENTRO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

VALORACIÓN NUTRICIONAL DE HARINAS DE CUCARACHA DE
MADAGASCAR (*Gromphadorhina portentosa*) Y TENEBRIOS (*Tenebrio molitor*),
PARA SU USO EN ACUICULTURA

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE MAESTRO EN CIENCIAS CON OPCIÓN A
AGRONOMICAS

PRESENTA: ALEJANDRA PÉREZ ALTAMIRANO

Director:

Dr. Alberto Margarito García Munguía

Co Director:

Dr. Carlos Alberto García Munguía

Asesores:

Dr. Raúl Ortiz Martínez

Dr. Luis Arturo Ibarra Juárez

Aguascalientes, Ags. Marzo 2019.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES
CENTRO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

OF. NO. CCA-D-11-15-042-19

DRA. EN ADMÓN. MARÍA DEL CARMEN MARTÍNEZ SERNA
DIRECTORA GENERAL DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
P R E S E N T E.

Por medio de la presente me permito comunicarle a usted que la tesis titulada "VALORACIÓN NUTRICIONAL DE HARINAS DE CUCARACHA DE MADAGASCAR (*GROMPADHORINA PORTENTOSA*) Y TENEBRIOS (*TENEBRIO MOLITOR*) PARA USO EN LA ACUICULTURA", de la alumna **ALEJANDRA PÉREZ ALTAMIRANO**, egresada de la Maestría en Ciencias Agronómicas y Veterinarias, respeta las normas y lineamientos establecidos institucionalmente para su elaboración y su autor cuenta con el voto aprobatorio de su tutor y comité tutorial.

Sin más por el momento aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E
Jesús María, Ags., 27 de marzo del 2019
"SE LUMEN PROFERRE"

Dr. Raúl Ortiz Martínez
Decano del Centro



c.c.p. Jefa del Departamento de Control Escolar
c.c.p. Sección de Certificados y Títulos
c.c.p. Secretario Técnico
c.c.p. Estudiante
c.c.p. Archivo



28Ene19

Estimado Dr. García-Munguía: me es grato comunicarle que su manuscrito “Análisis Nutricional y Aminoácidos de Harinas de *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae), *Gromphadorhina portentosa* (Blattodea: Blaberidae)” de los autores Alejandra Pérez-Altamirano, Alberto Margarito García-Munguía, Carlos Alberto García-Munguía y Luis Arturo Ibarra-Juárez, ha sido tentativamente aceptado para publicarse en la revista *Southwestern Entomologist*.

Sin más por el momento reciba un afectuosos saludo y le agradecemos su interés por publicar su trabajo en nuestra revista.

Carlos A. Blanco

Carlos A. Blanco, Editor asociado

Carlos.a.blanco@aphis.usda.gov / carlos.blanco1206@gmail.com /

cblancom@unm.edu

Cc. Dr. Bonnie Pendleton, Editor-in-Chief



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES

Dr. Raúl Ortiz Martínez

DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

PRESENTE:

Por medio de la presente como tutor designado del estudiante **Alejandra Pérez Altamirano** quien realizó la tesis titulada: **Valoración nutricional de harinas de Cucaracha de Madagascar (*Grompadhorina portentosa*) y Tenebrios (*Tenebrio molitor*) para uso en la acuicultura** y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia, me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que pueda proceder a imprimirla, así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención de grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento me permito enviarle un saludo cordial.

ATENTAMENTE

"Se Lumen Proferre"

Jesús María. Aqs., a 11 de marzo de 2019

Dr. Alberto Margarito García Munguía

Tutor de tesis

c.c.p.- Interesado
c.c.p.- Secretaría de Investigación y Posgrado
c.c.p.- Consejo Académico
c.c.p.- Minuta secretario Técnico



Universidad
de Guanajuato

CAMPUS IRAPUATO - SALAMANCA

DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA VIDA

Irapuato, Guanajuato, a 10 de marzo de 2019.

Asunto: Solicitud Estancia para Prácticas

Dr. Raúl Ortiz Martínez

DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

PRESENTE:

Por medio de la presente como co-tutor designado del estudiante **Alejandra Pérez Altamirano** quien realizó la tesis titulada: **Valoración nutricional de harinas de Cucaracha de Madagascar (*Grompadhorina portentosa*) y Tenebrios (*Tenebrio molitor*) para uso en la acuicultura** y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia, me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que pueda proceder a imprimirla, así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención de grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento me permito enviarle un saludo cordial.

ATENTAMENTE
"LA VERDAD OS HARA LIBRES"

DR. CARLOS ALBERTO GARCÍA MUNGUÍA

Co-tutor

c.c.p.- Interesado
c.c.p.- Secretaría de Investigación y Posgrado
c.c.p.- Consejo Académico
c.c.p.- Minuta secretario Técnico

Xalapa, Veracruz a 27 de Marzo de 2018

Dr. Raúl Ortiz Martínez
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PRESENTE:

Por medio de la presente como asesor designado del estudiante **Alejandra Pérez Altamirano** quien realizó la tesis titulada: **Valoración nutricional de harinas de Cucaracha de Madagascar (*Grompadhorina portentosa*) y Tenebrios (*Tenebrio molitor*) para uso en la acuicultura** y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia, me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que pueda proceder a imprimirla, así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención de grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento me permito enviarle un saludo cordial.

ATENTAMENTE


Dr. Luis Arturo Ibarra Juárez
Asesor





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES

Dr. Raúl Ortiz Martínez

DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

PRESENTE:

Por medio de la presente como asesor designado del estudiante **Alejandra Pérez Altamirano** quien realizó la tesis titulada: **Valoración nutricional de harinas de Cucaracha de Madagascar (*Grompadhorina portentosa*) y Tenebrios (*Tenebrio molitor*) para uso en la acuicultura** y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia, me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que pueda proceder a imprimirla, así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención de grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento me permito enviarle un saludo cordial.

ATENTAMENTE

"Se Lumen Proferre"

Jesús María. Ags., a 15 de marzo de 2019

Dr. Raúl Ortiz Martínez

Asesor

c.c.p.- Interesado
c.c.p.- Secretaría de Investigación y Posgrado
c.c.p.- Consejo Académico
c.c.p.- Minuta secretario Técnico

AGRADECIMIENTOS

Un especial agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por su apoyo económico para mi formación académica y el desarrollo de este trabajo.

A mi tutor el Dr. Alberto Margarito García Munguía, Profesor Investigador en la Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA), a mi cotutor Dr. Carlos Alberto García Munguía, Profesor Investigador en la Universidad de Guanajuato (UG), a mis asesores de tesis Dr. Raúl Ortiz Martínez, Profesor Investigador de la UAA y al Dr. Luis Arturo Ibarra Juárez, Investigador en el Instituto de Ecología A.C. (INECOL A.C.)

Al Laboratorio de Nutrición Animal del Centro de Ciencias Agropecuarias de la UAA, en especial a la M. en C. Guadalupe Acero Godínez por sus asesorías en las técnicas de análisis bromatológicos.

Al Dr. José Antonio Guerrero Analco Investigador Responsable del área de Química de Productos Naturales y al Dr. Juan Luis Monribot Villanueva, Técnico Académico de la Red de Estudios Moleculares Avanzados del INECOL, A. C.

A la M. en C. Alma Rosa Altúzar Molina, Investigador del INECOL, A. C. y a la M. en C. Ana Luisa Kiel Martínez, técnico académico del laboratorio de Ecología Química del cluster Biomimic del INECOL, A. C., por toda su asesoría y consejos durante mi estancia en Xalapa.

DEDICATORIA

A toda mi familia, los que ya no están y los que siguen aquí, que siempre ha estado conmigo y me han impulsado a seguir mis metas.

A mis compañeros de Maestría por todos los momentos de aprendizaje y de diversión; que esta etapa siempre viva en nuestros corazones.



ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
INDICE DE TABLAS.....	1
INDICE DE FIGURAS.....	2
RESUMEN.....	4
ABSTRACT.....	5
INTRODUCCIÓN.....	6
I. OBJETIVOS.....	8
1.1 Objetivo General.....	8
1.2 Objetivos Particulares.....	8
II. HIPÓTESIS.....	8
JUSTIFICACIÓN.....	9
III. ANTECEDENTES.....	10
3.1 Alimentos balanceados.....	10
3.1.1 Producción de alimentos balanceados.....	10
3.2 Acuicultura.....	10
3.2.1 Importancia de la acuicultura.....	11
3.2.2 Estado actual de la acuicultura.....	11
3.2.3 Producción mundial de la acuicultura.....	12
3.2.4 La acuicultura nacional.....	13
3.3 Requerimientos nutrimentales de los peces.....	14
3.3.1 Fuentes de proteína para la alimentación de peces en la acuicultura.....	15
3.3.2 Fuentes alternativas de proteínas para la acuicultura.....	15
3.4 Harinas de origen vegetal.....	16
3.4.1 Harina de soya.....	16
3.4.2 Harina de amaranto.....	16
3.5 Harinas de insectos.....	18
3.5.1 Composición de harinas de insectos.....	19
3.6 Importancia de los insectos.....	19

3.6.1 Cucaracha de Madagascar (<i>Gromphadorhina portentosa</i>).....	20
3.6.1.1 Descripción.....	20
3.6.1.2 Hábitat.....	20
3.6.1.3 Reproducción.....	20
3.6.1.4 Información nutrimental.....	20
3.6.2 Gusano de la harina (<i>Tenebrio molitor</i>).....	21
3.6.2.1 Descripción.....	21
3.6.2.2 Hábitat.....	21
3.6.2.3 Reproducción,,.....	21
3.6.2.4 Información nutrimental.....	21
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
4.1 Localización del área de estudio.....	23
4.2 Cría de insectos.....	23
4.2.1 Cría de Cucaracha de Madagascar (<i>Gromphadorhina</i> <i>portentosa</i>).....	24
4.2.2 Cría de Gusano de la harina (<i>Tenebrio molitor</i>).....	24
4.3 Producción de harina de insectos.....	25
4.4 Producción de harina de amaranto (<i>Amaranthus hypochondriacus</i>)	26
4.5 Análisis químico proximal de harinas de insectos.....	26
4.5.1 Preparación de las muestras.....	26
4.5.2 Humedad.....	26
4.5.3 Extracto etéreo.....	26
4.5.4 Proteína.....	26
4.5.5 Cenizas.....	27
4.5.6 Fibra cruda.....	27
4.5.7 Fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácida (FDA).....	27
4.6 Análisis de la digestibilidad <i>in vitro</i>	27
4.6.1 Análisis de la digestibilidad de la Materia Orgánica por método de Kesting.....	27
4.7 Análisis de aminoácidos.....	28

4.7.1 Preparación de las soluciones estándar..... 28

4.7.2 Preparación de las muestras..... 28

4.7.2.1 Molienda..... 28

4.7.2.2 Desgrase de las muestras..... 28

4.7.2.3 Hidrólisis ácida..... 28

4.7.3 Formación de los derivados..... 29

4.7.4 Análisis por cromatografía de gases acoplados a
espectrofotometría de masas (GC-MS)..... 29

4.7.5 Curvas de calibración..... 30

4.7.6 Procesamiento de las muestras hidrolizadas..... 32

4.8 Análisis estadístico..... 32

V. RESULTADOS..... 33

5.1 Resultados del Análisis Químico Proximal (AQP)..... 33

5.2 Resultados del análisis de las Fibras Detergentes Neutras (FDN) y
Ácidas (FDA)..... 34

5.3 Resultados del análisis de la digestibilidad de la materia orgánica.. 34

5.4 Resultados del análisis de aminoácidos de las muestras de
harinas..... 34

VI.DISCUSIÓN..... 39

6.1 Análisis Químico Proximal (AQP) de las harinas..... 39

6.2 Análisis de las Fibras Detergentes Neutras y Ácidas..... 40

6.3 Análisis de la digestibilidad de la materia orgánica..... 40

6.4 Análisis de aminoácidos..... 41

VII. CONCLUSIONES..... 42

VIII. REFERENCIAS..... 43

XI. ANEXOS..... 51

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
Cuadro 1. Tiempos de retención y masas de los iones fragmento de los derivados de tercbutildimetilsilil de los aminoácidos probados en el análisis GC-MS.....	30
Cuadro 2. Composición aproximada de las fuentes de proteína evaluadas (%).....	33
Cuadro 3. Fibra detergente neutra y ácida de las diferentes fuentes de proteína estudiadas.....	34
Cuadro 4. Digestibilidad de la materia orgánica por el Método de Kesting (KOH).....	34
Cuadro 5. Derivados de terc-bitildimetilsilil de los aminoácidos encontrados en los hidrolizados de harinas probadas en el análisis GC-MS.....	38

ÍNDICE DE FIGURAS

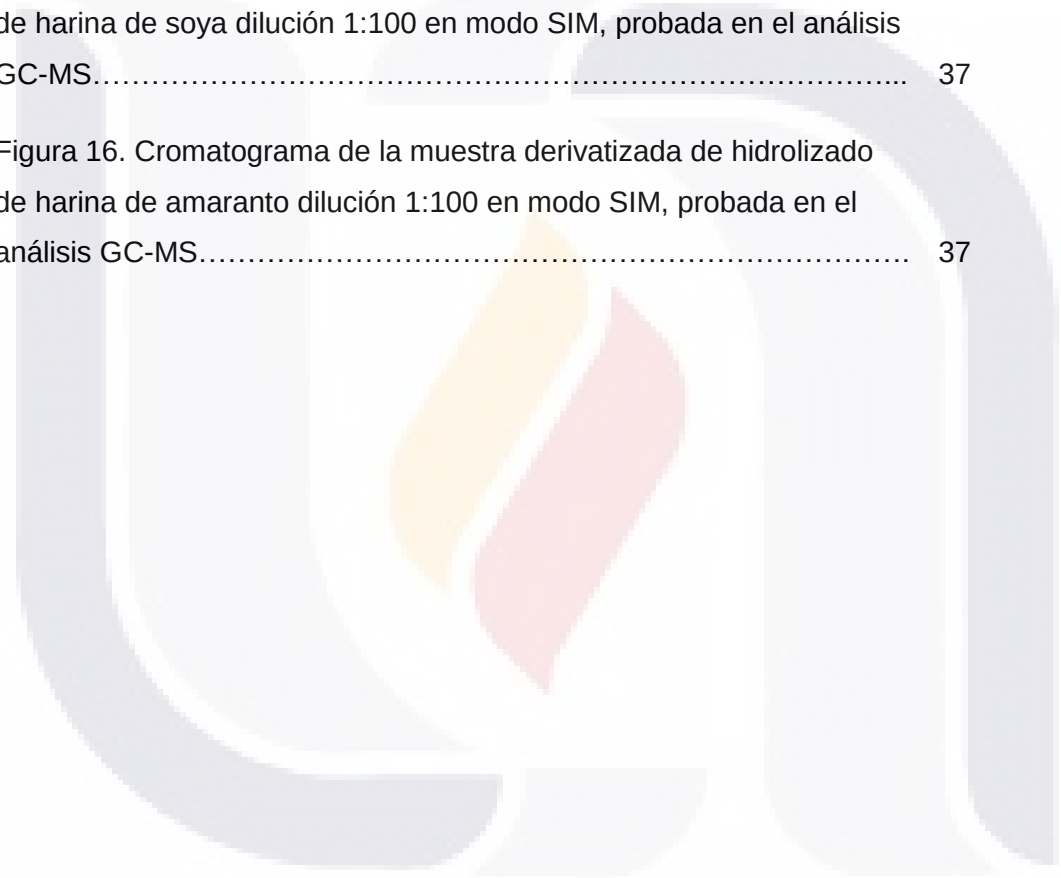
FIGURA	PÁGINA
Figura 1. Subministro y utilización del pescado a nivel mundial (FAO, 2018).....	12
Figura 2. Volumen en toneladas obtenido por región en el año 2014 (Atlas Agroalimentario, 2015).....	13
Figura 3. Principales especies de producción en la acuicultura continental de México (Atlas Agroalimentario, 2017).....	14
Figura 4. Porcentaje del valor de la producción de amaranto por entidad federativa (Atlas Agroalimentario, 2018).....	17
Figura 5. Localización del Centro de Ciencias Agropecuarias en Jesús María, Aguascalientes y del Instituto de Ecología (INECOL) en Xalapa, Veracruz.....	23
Figura 6. Cría y reproducción de Cucaracha de Madagascar (<i>Gromphadorhina portentosa</i>).....	24
Figura 7. Cría y reproducción de Tenebrios (<i>Tenebrio molitor</i>).....	25
Figura 8. Elaboración de Harinas de Insectos.....	25
Figura 9. Cromatograma de curva de calibración de concentración de 91 µg/mL en modo SIM, de los derivados de terc-butildimetilsilil de los aminoácidos probados en el análisis GC-MS.....	31
Figura 10. Comparación de los cromatogramas de la curva de calibración de concentraciones de 91, 45.5, 22.7, 11.4, 5.7 y 2.8 µg/mL en modo SIM, de los derivados de terc-bitildimetilsilil de los aminoácidos probados en el análisis GC-MS.....	31
Figura 11. Cromatograma de la muestra derivatizada de hidrolizado de harina de pescado dilución 1:100 en modo SIM, probada en el análisis GC-MS.....	35
Figura 12. Cromatograma de la muestra derivatizada de hidrolizado de harina de cucaracha de Madagascar dilución 1:100 en modo SIM, probada en el análisis GC-MS.....	35

Figura 13. Cromatograma de la muestra derivatizada de hidrolizado de harina de larvas de *Tenebrio molitor* dilución 1:100 en modo SIM, probada en el análisis GC-MS..... 36

Figura 14. Cromatograma de la muestra derivatizada de hidrolizado de harina de adultos de *Tenebrio molitor* dilución 1:100 en modo SIM, probada en el análisis GC-MS..... 36

Figura 15. Cromatograma de la muestra derivatizada de hidrolizado de harina de soya dilución 1:100 en modo SIM, probada en el análisis GC-MS..... 37

Figura 16. Cromatograma de la muestra derivatizada de hidrolizado de harina de amaranto dilución 1:100 en modo SIM, probada en el análisis GC-MS..... 37



RESUMEN

Los insectos *Tenebrio molitor* y *Gromphadorhina portentosa* fueron comparados como posibles fuentes alternativas de proteína para consumo animal, con dos fuentes de proteína de uso común en el mercado, harina de pescado y harina de soya; los resultados del contenido proteína cruda obtenidos fueron del 69% al 51%, el contenido de grasas tiene un rango del 4% al 22%. La digestibilidad de la materia orgánica fue comparable a la de los ingredientes de uso común e incluso fue superior en el caso de la harina obtenida de *Gromphadorhina portentosa* con un 90%. El perfil de aminoácidos entre la harina obtenida de larvas de *T. molitor* es similar al de la harina de pescado y es mejor al de la harina de soya, en general los insectos contienen un mejor perfil de aminoácidos esenciales que la harina de soya; si bien la suma de aminoácidos es menor en las harinas de insectos, el total de proteína cruda es mayor y tienen una mejor digestibilidad de la materia orgánica que los ingredientes ya conocidos; además la producción de harinas de insectos es sustentable y tiene una baja huella ecológica, lo que los convierte en un futuro ingrediente para la producción de alimentos balanceados para consumo animal.

ABSTRACT

The insects *Tenebrio molitor* and *Gromphadorhina portentosa* were compared as possible alternative sources of protein for animal consumption against the protein sources of common use in the market, fishmeal and soybean meal; crude protein content ranged from 69% to 51%, the fat content has a range of 4% to 22%. The digestibility of the organic matter was comparable to that of the ingredients of common use and was even higher in the case of the flour obtained from *Gromphadorhina portentosa* with 90%. The amino acid profile of the yellow mealworm flour is similar to the fishmeal and is better than the soybean meal. In general, the different insects' meals have better amino acids profiles than the soybean meal; although the sum of the amino acids is lower in the insects' meals, the crude protein is greater and they have a better digestibility of the organic matter than the ingredients already known. In addition, the production of insect meals is sustainable and has a low ecological footprint, which translates into a future ingredient for the production of balanced feed.

INTRODUCCIÓN

Actualmente enfrentamos la escasez de fuentes de proteína para la alimentación animal, el alto costo de los insumos además de la necesidad de la importación de los mismos, estos factores crean un área de oportunidad para la investigación de nuevas alternativas proteínicas que sean viables para la producción de alimentos balanceados para consumo animal.

En los sectores de producción de alimentos para consumo animal ya se han utilizado fuentes de proteína vegetal como alternativas a la harina de pescado que se utiliza como principal fuente de proteína para la cría de peces y crustáceos, como la harina de frijol de soya; pero otros tipos de proteínas de origen vegetal aún no han sido utilizadas con la misma frecuencia, como podría ser la harina de amaranto.

Uno de los sectores de producción de alimentos para consumo animal en el que más persiste esta problemática es en la acuicultura, ya que la harina de pescado que se utiliza como principal fuente de proteína para la cría de peces y crustáceos, es un insumo que tiene características finitas y representa una alta inversión en la producción.

Se han realizado diferentes trabajos en la investigación del uso de insectos como fuentes alternativas de proteínas para la cría de truchas, tilapias, pez gato, carpas, aves, cerdos e inclusive en mascotas; los cuales muestran resultados prometedores para formular dietas con inclusión de harinas de insectos, especialmente en especies de peces omnívoros o herbívoros.

Otra ventaja que ofrece la producción de harinas a base de insectos, es la capacidad de estos para degradar componentes de desperdicio orgánico e incluirlos en su biomasa como proteínas de alta calidad y buena digestibilidad, lo que convierte a los insectos en productos con reducida huella de carbono.

México cuenta con más de 300 especies reconocidas de insectos comestibles, que son potenciales fuentes renovables y sustentables de proteína, tanto para la alimentación de los seres humanos como para consumo animal; y si agregamos que se espera que la acuicultura del futuro sea uno de los más grandes soportes para lograr la seguridad alimentaria de la población creciente, tenemos la combinación perfecta para posicionar a

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

México como líder en la investigación y desarrollo de nuevas harinas alternativas para consumo animal con proteínas alternativas.

Por lo anterior en el presente trabajo se abordó la problemática de la producción de harinas para consumo animal con dos especies de insectos, Cucaracha de Madagascar (*Gromphadorhina portentosa*) y Tenebrios (*Tenebrio molitor*) como fuentes alternativas de proteínas para su uso en la acuicultura.



OBJETIVOS

1.1 Objetivo general

Evaluar el aporte nutricional de las harinas producidas de cucaracha de Madagascar (*Gromphadorhina portentosa*), tenebrios (*Tenebrio molitor*), soya (*Glycine max*), amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) y harina de pescado comercial.

1.2 Objetivos particulares

1. Criar y obtener las harinas de Cucaracha de Madagascar (*Gromphadorhina portentosa*) y Tenebrios (*Tenebrio molitor*).
2. Hacer los análisis químico-proximales de las harinas de insectos, de origen vegetal y de harina de pescado comercial.
3. Realizar el análisis de la digestibilidad de la harina obtenida de cucaracha de Madagascar (*Gromphadorhina portentosa*), Tenebrios (*Tenebrio molitor*) soya (*Glycine max*), amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) y harina de pescado comercial.
4. Analizar el contenido de aminoácidos de la harina obtenida de cucaracha de Madagascar (*Gromphadorhina portentosa*), Tenebrios (*Tenebrio molitor*) soya (*Glycine max*), amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) y harina de pescado comercial.

HIPÓTESIS

Las harinas de cucaracha de Madagascar (*Gromphadorhina portentosa*) y Tenebrios (*Tenebrio molitor*), tienen mayor contenido nutricional que las harinas de pescado y soya (*Glycine max*).

JUSTIFICACIÓN

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) en el año 2016, señaló que la acuicultura es una herramienta fuerte para lograr la seguridad alimentaria y nutricional mundial de la creciente población, que en el año 2050 se espera que alcance los nueve mil millones de habitantes (FAO, 2016a).

Con esta visión en cuenta, recae la importante labor que tiene el sector acuicola para cubrir la demanda de alimento requerido que pide la población, desafortunadamente, en estos momentos, los insumos que se utilizan en la alimentación de peces son costosos y además, son insuficientes (FAO, 2012).

En México, durante el año 2017 se produjeron 5,563,324 toneladas de ganado en pie provenientes de especies de bovinos, porcinos, ovinos y caprinos; además de la producción de 4,029, 561 toneladas de aves y guajolotes; con un valor en la producción combinado de 264, 605, 758. 58 miles de pesos; esto sin tomar en cuenta la producción de leche y huevo para plato (SIAP, 2018).

Además en nuestro país, durante el año 2014 se produjeron 325, 003, 198 kg de peso vivo provenientes de 59 especies de peces, crustáceos, moluscos, anfibios, algas y otras plantas acuáticas, de los que 189, 143, 041 kg de peso vivo corresponden a las diferentes especies de peces que se cultivaron en el mismo año, lo que representa casi un 60% de la producción (CONAPESCA, 2018).

Es por estas razones que las investigaciones internacionales y nacionales han enfocado sus esfuerzos para encontrar fuentes alternativas de proteínas para la producción de alimentos balanceados, recordando que estas proteínas deben ser seguras, baratas y sustentables; y tomando en cuenta estos requerimientos, las fuentes más prometedoras para la obtención de proteínas son los insectos (Lähteenmäki-Uutela *et al.*, 2017).

Los estudios realizados por diferentes investigadores del mundo, en cuanto a la producción e inclusión de harinas de insectos como fuente de proteínas para la nutrición de peces, muestran resultados muy prometedores; tanto para cubrir los requerimientos nutricionales de diferentes especies de peces, como en estudios de digestibilidad y palatabilidad (Dietz y Liebert, 2018).

ANTECEDENTES

3.1 Alimento balanceados

El alimento balanceado es un producto que contiene una mezcla científicamente balanceada para cumplir con los requerimientos nutricionales de las diferentes especies animales, en sus diversas etapas de crecimiento, tomando en cuenta su medio ambiente y que está compuesta por diversas materias primas de origen agrícola, animal, marino y productos químicos (Centro de Desarrollo Industrial del Ecuador, 1965).

3.1.1 Producción de alimentos balanceados

La producción de alimentos balanceados en el mundo, en el año 2016 se estimó fue de 1,038 millones de toneladas, de las cuales 37 millones fueron producidas en nuestro país, México, lo que lo coloca como el cuarto país productor de alimentos balanceados a nivel mundial, tan sólo por debajo de China, Estados Unidos de América y Brasil (Alltech, 2017).

De estas 37 millones de toneladas 52% fue destinado a la Avicultura, 16% a la producción de cerdo, 16% al ganado de leche, 11% al ganado de engorda, 3% a la producción de alimentos para mascotas como perros y gatos; 1% es destinado a la acuicultura y el 1% restante incluye alimentos para caballos, conejos, ovinos y caprinos (SIAP, 2017).

El alimento balanceado impacta en promedio nacional en un 65.5% del costo de la producción de huevo; 68.9% en el del pollo de engorda y hasta un 80% en el de cerdos (ANFACA), 2018).

3.2 Acuicultura

La FAO define a la acuicultura como la cría de organismos acuáticos, comprendidos entre ellos los peces, moluscos, crustáceos y plantas; la cría supone la intervención humana para incrementar la producción, concentrando a la población de peces, alimentándolos y protegiéndolos de los depredadores.

3.2.1 Importancia de la acuicultura

La Organización Internacional para las Harinas y Aceites de Pescado (IFFO, por sus siglas en ingles) reporta que la industria de la acuicultura muestra un rápido crecimiento, con una tasa promedio del 6.2% anual en la última década (Jackson, 2012); este crecimiento refleja la demanda de la población mundial de productos de la acuicultura, que ha aumentado de 9.9 kg *per capita* en el año 1960 a 19.7 kg *per capita* en el año 2013 (FAO, 2016a).

La FAO tiene las esperanzas puestas en la acuicultura para alcanzar la seguridad alimentaria, principalmente en los países en vías de desarrollo; ya que con su producción se puede proveer a la población de proteínas baratas y de buena calidad para su alimentación; se tiene proyectado que el consumo *per capita* de los productos provenientes de la acuicultura aumente en todos los continentes del mundo, pero en especial en América Latina y en los países de Brasil, Perú, Chile y México (FAO, 2016a).

3.2.2 Estado actual de la acuicultura

La FAO reconoció que el año 2014 fue el primero en el que la acuicultura superó en producción a la pesca de captura, siendo los peces de escama el grupo principal de especies comestibles producidas, representando dos tercios de la producción total de la acuicultura marina y costera (FAO, 2016a).

En el año 2014 el Consejo Técnico de la Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (CONAPESCA) en México reportó un aumento del 32,2%, en la producción de las especies que provienen de la acuicultura, principalmente de mojarra, trucha, ostión, carpa y camarón.

El aumento en la demanda de la producción de la acuicultura trae por consiguiente el aumento del uso de harinas de pescado y aceite de pescado que se incluyen en los piensos usados para la cría de peces, esto ha puesto en riesgo la sustentabilidad de la producción acuícola. Los insumos de harina de pescado y aceite de pescado son en la actualidad, los componentes más costosos de los piensos utilizados en la acuicultura (Belforti *et al.*, 2015).

La harina y el aceite de pescado siguen considerándose los ingredientes más nutritivos y digeribles destinados a pienso para peces de acuicultura, pero debido al suministro variable y la consiguiente variación en los precios, se utilizan de manera más selectiva, en

fases específicas de producción y su incorporación en las dietas de productores ha disminuido con el tiempo (FAO, 2018)

3.2.3 Producción de la acuicultura mundial

El pescado y los productos pesqueros representan uno de los sectores de la producción de alimentos del mundo con más comercialización; el cultivo continental de peces de escama en estanques de tierra, es la práctica acuícola que más contribuye a la seguridad alimentaria ya a la nutrición en los países en vías de desarrollo (FAO, 2016a).

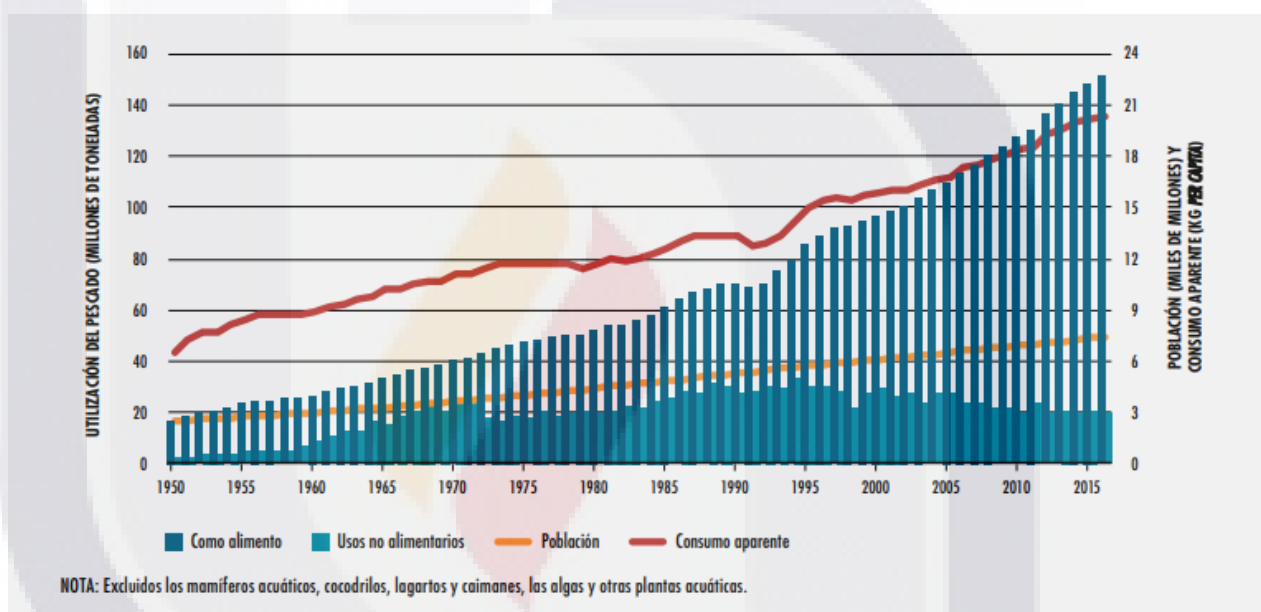


Figura 1. Utilización y consumo aparente del pescado a nivel mundial.

El cultivo continental de peces de escama en estanques de tierra, es la práctica acuícola que más contribuye a la seguridad alimentaria y a la nutrición de la población de los países en vías de desarrollo (FAO, 2016a).

En el año 2013, China fue el país dominante en la industria mundial de la acuicultura, ya que su demanda de insumos para la producción de carpas y tilapias, tanto para consumo

local, como para exportación; se estima que el 61% de la producción total de la acuicultura de agua dulce proviene de China (Chiu *et al.*, 2013).

México está exportando a China, alrededor de 215 mil toneladas en 2015, de harinas de pescado (SAGARPA), el estado de Sonora es el mayor exportador con un volumen de más de 213 mil toneladas (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, 2015).

3.2.4. La acuicultura nacional

En México durante el año 2014 se cultivaron 325, 003, 198 kg de peso vivo, de 59 especies de peces, crustaceos, moluscos, anfibios, algas y otras plantas acuáticas; de los que 189,143,041 kg de peso vivo, corresponden a las diferentes especies de peces que se cultivaron en el mismo año, lo que representa casi un 60% de la producción (CONAPESCA, 2014).

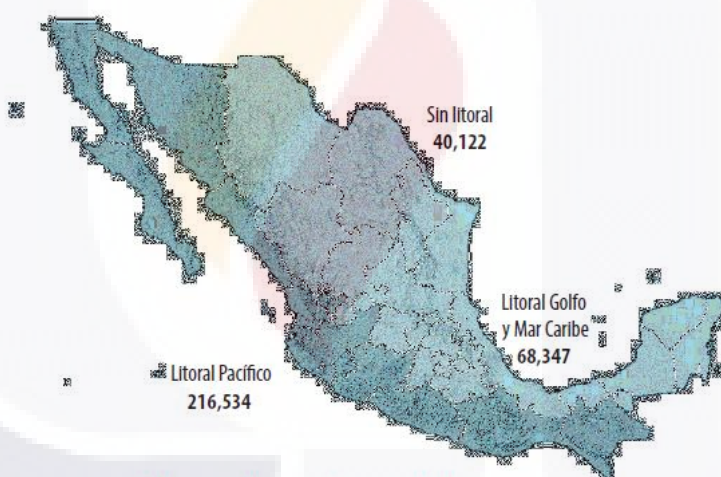


Figura 2. Volumen en toneladas obtenido por región en el año 2014

En México de las 387 mil 732 toneladas de especies pesqueras resultado de la acuicultura que se cultivaron en el año 2017, el 33.4% se obtuvo a través de la cría de especies en aguas interiores (CONAPESCA, 2014).



Figura 3. Principales especies de producción en la acuicultura continental de México

3.3 Requerimientos nutrimentales de los peces

Es de suma importancia conocer los requerimientos nutrimentales de las especies que se desean criar mediante la acuicultura, ya que de no conocerlos se hace prácticamente imposible, lograr una producción sustentable y rentable (Jones *et al.*, 2015).

Los peces son los animales más eficientes en términos de conversión de alimento, en promedio se necesitan 1.5 kg de alimento para obtener un kg de pescado (Catania, 2013) y la producción mundial de peces comestibles cultivados se apoya cada vez más en la acuicultura continental, que suele practicarse en un entorno de agua dulce en la mayoría de países (FAO, 2018)

Aunque al momento no se cuenta con la misma cantidad de información en cuanto a los requerimientos nutrimentales de las diferentes especies de peces que son criadas en la acuicultura, existen varios investigadores en el mundo interesados en los aspectos básicos de la nutrición de peces (Jobling, 2016).

La mayoría de las especies de peces requieren de ciertos aminoácidos para lograr un desarrollo normal en sus diferentes etapas de crecimiento, estos aminoácidos como son la Taurina, Lisina y Metionina, deben ser adicionados a la dieta de los peces, si se tiene una fuente de proteínas de origen vegetal en el alimento (Barroso *et al.*, 2014; Jobling, 2016).

Muchas especies de peces son dependientes de los ácidos grasos altamente insaturados, como el ácido docosahexaenoico (DHA, por sus siglas en ingles) y el ácido eicosapentaenoico (EPA, por sus siglas en ingles), para su desarrollo normal y el mantenimiento de su salud; estos ácidos grasos se obtienen casi exclusivamente de la adición del aceite de pescado en las dietas de los peces criados en la acuicultura (Jobling, 2016; Sánchez-Muros, Barroso, y Manzano-Agugliaro, 2014).

3.3.1 Fuentes de proteína para la alimentación de peces en la acuicultura

En la alimentación de peces se prefiere una dieta basada en la harina de pescado, aunque el alto costo de este insumo y su escasez hace que se busquen alternativas ya que el uso de proteínas de otros animales está prohibido para la alimentación; como alternativas se usan fuentes vegetales, de las cuales la harina de soya es la más utilizada (Henry, Gasco, Piccolo, y Fountoulaki, 2015).

Pero la harina de soya puede contener factores antinutricionales que reducen la palatabilidad del alimento, interfieren con la digestión y absorción de los nutrientes, reducen el aprovechamiento del alimento, o puede tener efectos metabólicos adversos (Jobling, 2016).

3.3.2 Fuentes alternativas de proteínas para el uso en la acuicultura

La acuicultura es el sector de producción de alimentos de origen animal con mayor crecimiento a nivel mundial, pero el aumento de los precios de las harinas de pescado y la creciente demanda del sector, hacen que este insumo sea casi incosteable, más aun para los pequeños productores (FAO, 2012).

Estas tendencias remarcan la importancia de encontrar nuevas fuentes de proteína para el sector acuícola, que además de costeables sean seguras (FAO, 2016b); en la búsqueda de estas fuentes alternativas de proteínas se han considerado a las microalgas,

la lenteja de agua, la canola, la colza y los insectos; los estudios realizados en estas nuevas fuentes de alimento para aves de corral o para la acuicultura muestran resultados prometedores (Van Der Spiegel, Noordam, y Van Der Fels-Klerx, 2013).

Los insectos tienen un mercado similar al de la harina de pescado, ya que han sido empleados como ingrediente de los piensos en la acuicultura, en piensos dedicados a la cría de ganado y en alimentos para mascotas (FAO, 2012).

3.4 Harinas de origen vegetal

3.4.1 Harina de soya

La soya es la fuente de proteína vegetal más importante para la industria de la nutrición animal y es la que se ha estado utilizando regularmente en la alimentación de cerdos y aves en crecimiento y finalización (Ji *et al.*, 2016).

La harina de soya se obtiene a partir de los granos enteros molidos de soya, obteniendo un producto café claro. La harina de soya puede contener un porcentaje de grasa total de cuatro a ocho por ciento, contiene además proteínas y vitaminas del complejo B (AMAS, 2018).

La harina de soya ha sido utilizada en la dieta para la cría de peces por ser un ingrediente rico en lípidos y proteínas y que sirve como remplazo de la harina y el aceite de pescado (Sánchez-Muros *et al.*, 2016), sin embargo puede presentar un alto grado de variabilidad en su contenido nutricional, tiene además factores antinutricionales como inhibidores de tripsina y lectinas (Henry *et al.*, 2015), puede generar problemas inflamatorios en el tracto digestivo y disminuye la palatabilidad de los alimentos (Adams, Saenz, y Conner, 2011).

3.4.2 Harina de amaranto

El amaranto es un pseudocereal que ha sido cultivado y utilizado en México desde la época prehispánica que pertenece a la familia Amaranthaceae (Chauhan, Saxena, y Singh, 2015), es un alimento altamente nutritivo, que es considerado tiene características tanto de los cereales como de las leguminosas lo que lo hace una excelente fuente de proteínas y otros nutrientes como son, la fibra dietaria, vitaminas y minerales (Samir Vedia-Quispe, Deyse Gurak, Karin Espinoza, y Antonio Ruano-Ortiz, 2016), tiene altos contenidos de

aminoácidos como son la lisina, metionina (Diogo *et al.*, 2017), y tiene un alto contenido de ácidos grasos como son el ácido palmítico, oleico y linoleico (Caselato-Sousa y Amaya-Farfán, 2012).

El amaranto tiene efectos antioxidantes y puede contribuir en el tratamiento de enfermedades crónico-degenerativas como la osteoporosis, hipertensión arterial, enfermedad celiaca por alergia al gluten e incluso en la nivelación de la glucosa en sangre, por lo que se recomienda para pacientes con diabetes mellitus (Porr, 2012).

El amaranto crece intensivamente y tiene una fotosíntesis acelerada y efectiva sin importar la calidad del suelo donde se cultive y puede sobrevivir a zonas con condiciones climáticas extremas (Santacruz De León, 2008).

En México se cultivan 11 especies de amaranto, de las cuales el *Amaranthus hypochondriacus* L. es la más extendida. La producción de amaranto esta concentrada en su mayoría en los estados de Tlaxcala, Puebla, Estado de México, Morelos, Ciudad de México, Oaxaca. San Luis Potosí, Durango y Queretaro (Salvador, 2016).



Figura 4. Porcentaje del valor de la producción de amaranto por entidad federativa

3.5 Harinas de insectos

Las harinas de insectos muestran un gran potencial de convertirse en un ingrediente estandar en la alimentacion de animales, dada la gran cantidad y calidad de las proteínas que contienen, la baja competitividad del alimento con el de los humanos y la reduccion del impacto ambiental al criar a los insectos como ingrediente para piensos (Biasato *et al.*, 2016).

Los insectos crecen y se reproducen facilmente, y tienen una tasa de conversion de alimento muy eficiente, ya que son de sangre fria, lo que no representa gasto de energía para mantener su temperatura y pueden ser criados en a partir de desechos. Un kilogramo (kg) de biomasa de insectos puede ser producida, en promedio, a partir de dos kilogramos de alimento (Makkar, Tran, Heuzé, y Ankers, 2014a).

Además que los insectos tienen el potencial de reciclar nutrientes perdidos al incorporar los aminoácidos (AA) y los ácidos grasos de los desperdicios orgánicos y del estiércol al introducirlos a su biomasa. La cual resulta ser alta en proteínas y en grasas, lo que hace a los insectos un compuesto interesante para introducir en los piensos de distintas especies animales (De Marco *et al.*, 2015).

El contenido de proteína cruda de estas fuentes alternativas es alto: entre 42 y 63% y tambien lo es el contenido de lípidos, arriba del 36% cuando se habla de aceites de insectos. Existen estudios que han confirmado que la palatabilidad (sabor agradable) de estos piensos alternativos es buena en los animales y que pueden remplazar desde un 25 hasta un 100% de las harinas de soya o las harinas de pescado dependiendo de la especie que se este alimentando con estas fuentes de proteína (Makkar *et al.*, 2014a).

Los insectos del orden Coleoptera, Diptera y Orthoptera son los que representan un mayor potencial para ser incluidos en las dietas de diferentes animales (Barroso *et al.*, 2014); pero las especies de insectos que han sido más estudiadas al momento como posibles fuentes de proteínas son: la Mosca soldado negro (*Hermentica illucens*) y el Gusano de la harina (*Tenebrio molitor*), los que entre sus características más interesantes destacan la conversión de residuos orgánicos en proteínas, lípidos y energía, para ser utilizados en la producción de piensos (Barroso *et al.*, 2014); (De Marco *et al.*, 2015); (Van der Spiegel *et al.*, 2013).

3.5.1 Composición de harinas de insectos

En países de Asia, África y Sudamérica se han realizado estudios sobre el valor nutritivo del uso de insectos en el alimento balanceado de ganado y de la acuicultura, principalmente para la alimentación de peces de agua dulce. En general, los patrones del contenido de aminoácidos en las harinas de insectos dependen de su taxonomía, en los cuales los perfiles de aminoácidos obtenidos de los Dípteros se consideran los más cercanos a los de las harinas de pescado; y de los Coleópteros y Ortópteros más cercanos a la harina de soya, con sus deficiencias de lisina y metionina (Henry *et al.*, 2015).

Los perfiles de aminoácidos de la mayoría de las dietas probadas en peces en las que se incluyen las harinas de insectos, muestran una buena correlación con los requerimientos dietéticos de los peces y en algunos casos, inclusive los sobrepasan, como es el ejemplo de las harinas de *Tenebrio molitor* (Henry *et al.*, 2015).

3.6 Importancia de los insectos

Con el reto de alimentar a más de 9 mil millones de personas en el mundo para el año 2050 y la situación de inseguridad alimentaria que viven muchas personas en países en vías de desarrollo, muchos investigadores han dedicado esfuerzos a encontrar fuentes alternativas de proteínas de calidad (Makkar *et al.*, 2014a).

Los insectos son consumidos por los humanos en muchas partes del mundo, principalmente en países de América, Asia y África (Rumpold y Schlüter, 2013), además, los insectos son usados como alimento para pollos y peces en muchas partes del mundo, principalmente en países en donde el precio de las fuentes de proteína tradicionales no puede ser solventado por los pequeños productores (Kenis *et al.*, 2014).

Los insectos han sido también el alimento natural de aves y peces y muchos productores permiten que sus animales coman libremente los insectos de su medio natural (FAO, 2012), porque además de ofrecer proteínas de alta calidad los insectos también tienen un alto valor ecológico al degradar residuos orgánicos (Rumpold y Schlüter, 2013).

Tomando en cuenta la alta tasa de reproducción de los insectos, su alta conversión de alimento en proteínas de alta calidad y el espacio reducido que se requiere para criarlos; los insectos pueden ser el futuro de la seguridad alimentaria, tanto como alimento para los

seres humanos, como si se usan en la producción de alimentos balanceados para aves, peces o incluso en bovinos (Rumpold y Schlüter, 2013), (Halloran *et al.*, 2016).

3.6.1 Cucaracha de Madagascar (*Gromphadorhina portentosa*)

3.6.1.1 Descripción

Gromphadorhina portentosa es una cucaracha gigante sin alas que proviene de la isla de Madagascar y que ha sido criada en cautiverio desde hace ya varias décadas (Heyborne, Fast, y Goodding, 2012).

3.6.1.2 Hábitat

Es preferible que se tengan fotoperíodos de 12 horas de luz y 12 horas de oscuridad; con temperaturas de 23 a 26 °C y que no bajen de 20 °C por la noche; la humedad será la proporcionada por el ambiente, manteniendo un sustrato húmedo que puede ser rociando agua o mojando el sustrato, sin empapararlo (Carrel y Tanner, 2002).

3.6.1.3 Reproducción

El ciclo de vida de la cucaracha de Madagascar como huevo, ninfa y adulto dura aproximadamente 9 meses; las ninfas tienen 6 mudas durante 7 meses y los adultos viven entre 2 y 5 años; las hembras cargan a los huevos y a las ninfas neonatas cerca de 60 días hasta que emergen como ninfas de primer estadio. Una hembra puede producir de 30 a 60 ninfas (Clark, Shanklin y Wallin, 1995).

3.6.1.4 Información nutrimental

Existen estudios que han evaluado la composición de cucaracha americana (*Periplaneta americana*) y cucaracha australiana (*Periplaneta australasiae*) en los que se han descrito que cuentan con un 62 a 66% de proteína, 27 a 29% de grasa, 3 a 4.5% de fibra, 0.7 a 2.8% de extracto libre de nitrógeno y 2.4 a 3% de cenizas (Rumpold y Schlüter, 2013); y de los estudios publicados en la composición nutrimental de la cucaracha de Madagascar se reporta un contenido de proteína del 58% y de un kilo de cucarachas de Madagascar se obtienen 330 gramos de materia seca (NOTIMEX, 2016); al momento no se encuentran más estudios con respecto a la composición de la cucaracha de Madagascar.

3.6.2 Gusano de la harina (*Tenebrio molitor*)

3.6.2.1. Descripción

Se conoce como Gusano de la harina a las larvas del escarabajo *Tenebrio molitor*, o Escarabajo molinero, las larvas de color miel mudan cerca de 12 veces de piel y cambian de color a uno más gris, llegan a medir entre 2 y 3 cm de largo y 2 mm de grosor, después de esto se transforman a pupas semi endurecidas. Las larvas y pupas son muy apreciadas como alimento para aves, reptiles y peces por su alto contenido de proteínas y grasas (Soto, 2003.)

3.6.2.2 Hábitat

Estos insectos son muy resistentes, se mantienen en temperaturas de entre 20 y 30 °C con un sustrato de salvado, se mantienen en un lugar con poca luz y se debe de limpiar el sustrato cuando ya este sucio, cada 5 a 7 días aproximadamente (Soto, 2003); se han realizado estudios de los tipos de dietas que se deben de dar a las larvas de *Tenebrio molitor* y se determinó que los mejores ingredientes de una dieta son restos de pan, cáscaras de papa, levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*) y granos secos de maíz, estos ingredientes son liofilizados, molidos y mezclados y además se dan pedazos de zanahoria de 2 g que son remplazados dos veces a la semana; la alimentación es *ad libitum* (Van Broekhoven *et al.*, 2015).

3.6.2.3 Reproducción

Ya se han realizado estudios del ciclo de vida de *Tenebrio molitor* en condiciones de laboratorio, en estos estudios se descubrió que en promedio las hembras oviponen por primera vez en 11.5 días entre 200 y 300 huevos; los huevos tienen una fase embrionaria de 7 a 15 días, se identificaron 11 estadios larvares con un promedio de desarrollo de 203 días y el estadio de pupa que fue el más corto con duración promedio de 7.6 días; los adultos tienen una esperanza de vida de 62 días (Miryam -Sandrigo-Ybran Tatiana -Bar y -Oscherov, 1998.)

3.6.2.4. Información nutrimental

Cuando el Gusano de harina (*TM*) es secado al sol, o secado por aire caliente, el remplazo de un 20% de la dieta del pezgato africano ha mostrado un crecimiento óptimo y ha mejorado aspectos de la salud del pez en comparación de las dietas tradicionales basadas

en harina de pescado (Henry *et al.*, 2015).

Algunos investigadores sugieren que las larvas de *Tenebrio molitor* contienen una gran cantidad de lípidos (32%) pero, aunque estudios muestran que los Ortópteros contienen una cantidad de lípidos menor (10 a 16%), los lípidos de los Ortópteros contienen niveles más altos de ácido linoleico y ácido α -linoleico, que tienen un rol importante en el mantenimiento de la salud humana y se encuentran en altas proporciones en los pescados que se destinan a consumo humano (Paul *et al.*, 2017).



MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Localización del área de estudio

La presente investigación se realizó en el laboratorio de Parasitología Agrícola y en el Laboratorio de Nutrición Animal del Centro de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, ubicada en el municipio de Jesús María, así mismo en el laboratorio de Ecología Química y Química de Productos Naturales del Campus III del Instituto de Ecología A. C. (INECOL, A. C.)



Figura 5. Localización del Centro de Ciencias Agropecuarias en Jesús María, Aguascalientes y del Instituto de Ecología (INECOL) en Xalapa, Veracruz.

4.2 Cría de Insectos

Todos los insectos fueron criados en condiciones monitoreadas de laboratorio.

4.2.1 Cría de Cucaracha de Madagascar (*Gromphadorhina portentosa*)

Las Cucarachas de Madagascar fueron criadas en cajas de plástico con orificios de ventilación, con un sustrato de fibra de coco y peat moss que se cambió cada 15 días, se mantuvo una temperatura de 26 °C y se alimentaron con desperdicios de verduras y agua con azúcar al 10% *ad libitum*, además se hizo una clasificación en cajas dependiendo su tamaño y su edad.

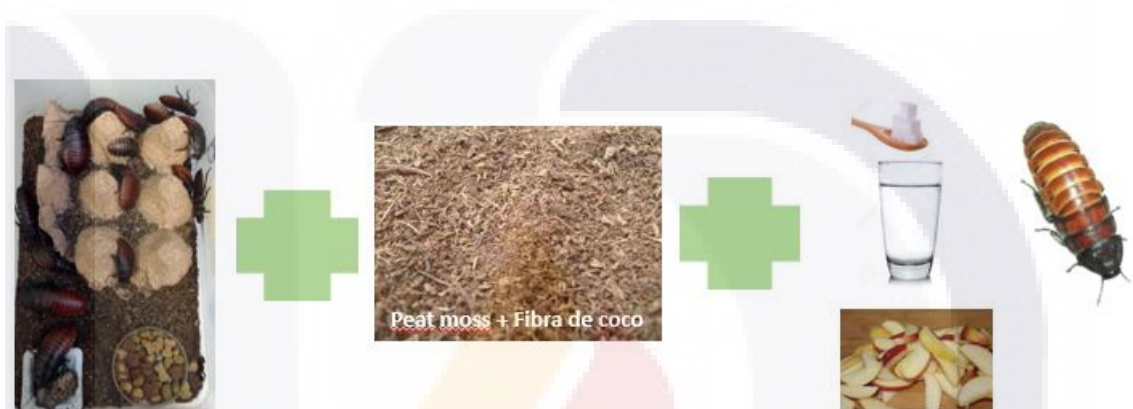


Figura 6. Cría y reproducción de Cucaracha de Madagascar (*Gromphadorhina portentosa*).

4.2.2 Cría de Gusano de harina (*Tenebrio molitor*)

Para la cría de los gusanos de la harina se usarón cajas de plástico con orificios para la ventilación, como sustrato se usó salvado de trigo y pedazos de papa como fuente de agua. Se mantuvieron a una temperatura de 26°C y el sustrato fue cambiado cada 15 días; además cada 15 días se extrajerón los adultos que se encontrarón en la caja con el fin de ser separados en otro contenedor y así maximizar la producción.



Figura 7. Cría y reproducción de Tenebrios (*Tenebrio molitor*).

4.3 Producción de harina de insectos

Los insectos fueron sacrificados en un congelador a -30°C durante 36 horas, después son lavados con agua corriente. Posteriormente se deshidrataron a 55°C por 96 horas, en horno con aire forzado (Felisa, FE-291D). Al final se molieron con ayuda de una licuadora, Marca International LI-12 A.

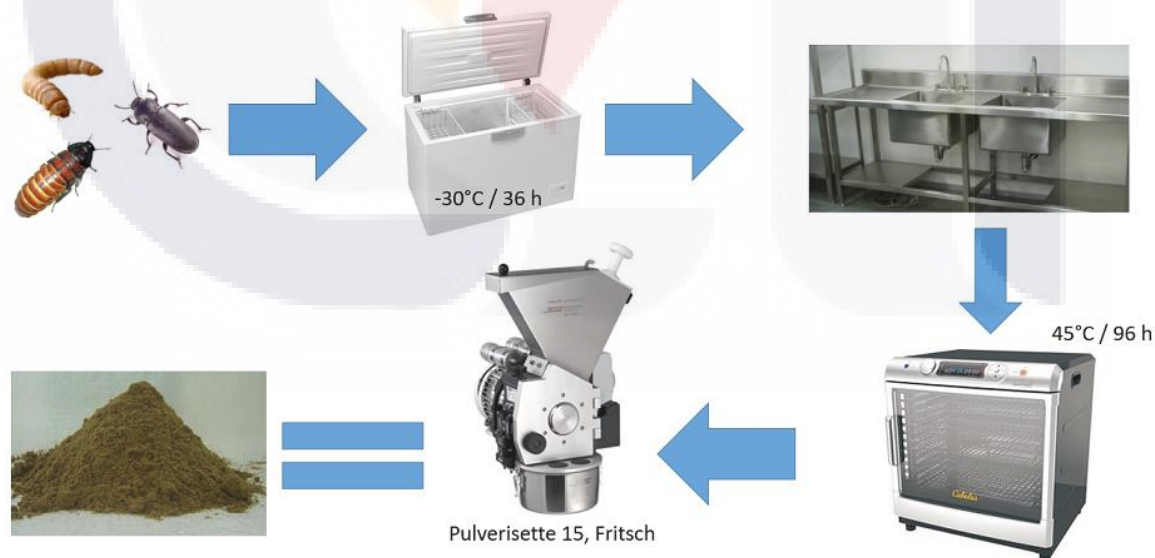


Figura 8. Elaboración de Harinas de Insectos.

4.4 Producción de Harina de Amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*)

Se colocaron en un molino a cuchillas universal marca FITSCH modelo PULVERISETTE 19, con un tamiz de tamaño 1.0 mm las semillas tostadas (palomitas) de la planta de amaranto, hasta obtener un polvo fino al que denominamos harina.

4.5 Analisis Químico Proximal de Harinas de Insectos

4.5.1 Preparación de la muestra

Los polvos obtenidos de la molienda con la licuadora se hicieron pasar por un molino Ras Mill a través de una criba 20, para obtener un tamaño de partícula de 1mm y así poder iniciar con los análisis químicos proximales de las harinas.

4.5.2 Humedad

El contenido de humedad de las diferentes harinas, se determinó mediante técnica gravimétrica por secado en estufa siguiendo el método 44-15.02 (AOAC 1984). Que consiste en medir la pérdida de peso de las muestras, colocadas en una estufa (Felisa 120 UAC) con circulación de aire a 60°C, dejándose hasta peso constante, que serán medidas en una balanza digital de 0.0001 g de precisión (Precisa, XT 220 A). Las determinaciones se realizaron por triplicado para cada muestra.

4.5.3 Extracto etéreo

Se determinó el extracto etéreo reportado como porcentaje total de grasa por extracción continua de ácidos grasos, se pesan 2 g de muestras y se utiliza como solvente acetona, siguiendo el método de Goldfish (AOAC 1984), en un aparato de extracción de grasas tipo Goldfish marca CRAFT®, utilizando cartuchos de extracción de celulosa de la marca Ahlstrom. Las determinaciones se realizaron por triplicado para cada muestra.

4.5.4 Proteína

El contenido de proteína se determinó mediante el análisis elemental de nitrógeno proteico (%N×6.25) (Método 46-16.01; AOAC, 1984); siguiendo la metodología de Dumas (LECO FP-528), que se basa en la liberación de nitrógeno por pirolisis y subsiguiente combustión total, utilizando un detector de conductividad térmica. Se utilizan los factores de conversión según protocolo para la transformación a proteína. Las determinaciones se realizaron por triplicado para cada muestra.

4.5.5 Cenizas

El análisis para determinar el contenido de cenizas se determinó mediante la metodología AACC 13.009; donde primero se desecan las muestras en estufa a 60 °C y posteriormente se carbonizan y calcinan en una mufla (Felisa, FE-291D) a 600 °C hasta peso constante y que fueron medidas en una balanza digital de 0.0001 g de precisión (Precisa, XT 220 A). Las determinaciones se realizaron por triplicado en las diferentes muestras.

4.5.6 Fibra cruda

La determinación del contenido de fibra cruda se llevó a cabo por medio de método gravimétrico (AOAC, 1990). Donde la fibra cruda es la pérdida de masa que corresponde a la incineración del residuo orgánico que queda después de la digestión con soluciones de ácido sulfúrico e hidróxido de sodio en condiciones específicas. Se utilizó un analizador de fibra (ANKOM-200). Las determinaciones se realizaron por triplicado en las diferentes muestras.

4.5.7 Fibra Detergente Neutra (FDN) y Fibra Detergente Ácida (FDA)

La fibra detergente neutra (FDN) se determinó por el método de Van Soest et al. (1991), como el residuo obtenido tras la solubilización del contenido celular en una solución tamponada a pH 7 de sulfato lauril-sodio (solución neutro-detergente) en ebullición suave durante 1 h y lavado final con acetona.

La fibra detergente ácida (FDA) se determina de manera no secuencial por el método de Robertson y Van Soest (1981), como la proporción de la muestra insoluble en una solución de bromuro de trimetil-cetil-amofilio en ácido sulfúrico 1N, (solución ácido detergente), en ebullición suave durante 1 h y lavado final con acetona. Ambas determinaciones se realizaron por duplicado para cada muestra.

4.6 Análisis de digestibilidad *in vitro*

4.6.1 Digestibilidad *in vitro* de la Materia Orgánica por método de Kesting.

La digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica se determinó por medio del método de Kesting, (Kesting, 1978). Donde la digestibilidad de la materia orgánica es pérdida de masa

que corresponde a la digestión con solución de hidróxido de potasio al 5% a punto de ebullición durante 10 minutos. Se utilizó un analizador de fibra (ANKOM-200). Las determinaciones se realizaron por triplicado en las diferentes muestras.

4.7 Análisis de aminoácidos

4.7.1 Preparación de las soluciones estándar

Se prepararon soluciones estándar de concentración de 91 µg/mL de cada aminoácido de referencia incluyendo a L-alanina, L-glicina, L-valina, L-leucina, L-isoleucina, L-prolina, L-metionina, L-serina, L-treonina, L-fenilalanina, L-ácido aspártico, L-cisteína, L-ácido glutámico, L-lisina, L-glutamina, L-histidina, L-triptófano de Bio Basic Inc., todos con pureza $\geq 98.5\%$ y L-tirosina con pureza del 97% de Sigma-Aldrich; con HCl 0.1 N, las cuales se resguardaron a 4°C hasta su uso.

4.7.2 Preparación de las muestras

4.7.2.1 Molienda

Los insectos deshidratados, las semillas tostadas de amaranto y la harina de pescado se colocaron en un molino de cuchillas universal marca FITSCH modelo PULVERISETTE 15 con un tamiz de tamaño 1.0 mm (AOAC, 1990).

4.7.2.2 Desengrase de las muestras

Los polvos obtenidos del proceso de molienda fueron sometidos a proceso de desgrase, con método Soxhlet; tres gramos de material pulverizado se colocaron en un cartucho de papel filtro el cual se colocó en el sistema Soxhlet, como solvente se utilizó acetona y se inició el sistema, después de concluidos tres ciclos del sistema se apagó (AOAC, 2006), se extrajeron los polvos y se colocaron en una campana de extracción para la evaporación del disolvente.

4.7.2.3 Hidrólisis ácida

De los polvos desgrasados de insectos y harina de pescado comercial, se pesaron 100 mg que fueron sometidos a hidrólisis con 10 mL de ácido clorhídrico (HCl) 6 N por 22 horas a 110 °C con agitación constante (Barroso *et al.*, 2014), pasado este tiempo el HCL se

evaporó con un rotoevaporador marca BUCHI modelo RII y el residuo resultante se almaceno a 4°C hasta su análisis.

4.7.3 Formación de los derivados

Para realizar el análisis por GC-MS de los aminoácidos de naturaleza ácida es conveniente derivatizar los compuestos de interés con el reactivo de N-terc-butildimetilsilil-Nmetiltrifluoroacetamida (MTBSTFA), con el fin de incrementar su volatilidad en cromatografía de gases y obtener picos más finos y simétricos; para esto se secaron alícuotas de 50 µL que contienen la mezcla de L-aminoácidos a una concentración de 91 µg/mL en HCl 0.1 N con un concentrador de LABCONCO modelo CentriVap DNA Concentrator, a una temperatura de 40°C por 50 minutos, a las alícuotas secas se le añadieron 100 µL de acetonitrilo (ACN) grado HPLC, con sulfato de sodio anhidro grado reactivo, seguido de 100 µL de MTBSTFA puro, todos los reactivos son de laboratorios Sigma-Aldrich. Esta mezcla se calentó a 100°C durante 4 horas (Molnir-Perl y Katona, 2000). Después las muestras fueron inyectadas al sistema de cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas (GC-MS).

Para las muestras se siguió el mismo proceso de derivatización.

4.7.4 Análisis por cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas (GC-MS).

El análisis GC-MS de los aminoácidos se realizó con un equipo GC 2010 plus de Shimadzu, equipado con un auto muestreador AOC – 20s y un auto inyector 20i, acoplado a un espectrómetro de masas QP 2010 Ultra de Shimadzu. La columna usada fue una columna de Zebron ZB-5MSI 30 m x 0.25 µm de espesor de película x 0.25 µm de diámetro interno. La inyección fue de 0.4 µL con la temperatura del inyector de 250°C, como gas acarreador se utilizó Helio de alta pureza (99.999%) a un flujo de 1mL/ minuto. La programación del horno fue la usada por (Stenerson, 2007), con algunos ajustes para prevenir el sangrado de la columna: la temperatura inicial será de 100°C por un minuto, luego se aumentará hasta 290°C a una velocidad de 35°C/minuto y se mantendrá por tres minutos y luego se aumentará a 310 °C y se mantendrá por un minuto. El rango de Barrido total de iones (SCAN) fue de 40 – 450 m/z. Y para el modo de monitoreo selectivo de iones (SIM) los iones que se buscaron son los recomendados por (Kazubek-Zemke *et al.*, 2014), además

se encontraron los tiempos de retención de cada aminoácido con la inyección individual de ellos tanto en modo SCAN como en modo SIM; los iones y los tiempos de retención de los aminoácidos se muestran en la cuadro 1.

Cuadro 1. Tiempos de retención y masas de los iones fragmento de los derivados de tercbutildimetilsilil de los aminoácidos probados en el análisis GC-MS.

Aminoácido	Tiempo de retención (tr) en minutos	Principales fragmentos de iones (m/z)
Alanina	4.895	158, 189, 207, 232, 260
Glicina	4.985	189, 218, 246, 260, 288
Valina	5.295	186, 216, 260, 288, 302
Leucina	5.440	189, 200, 218, 274, 302
Isoleucina	5.555	189, 200, 216, 274, 302
Prolina	5.720	184, 185, 258, 286, 300
Metionina	6.315	170, 218, 244, 292, 320
Serina	6.350	218, 230, 288, 362, 390
Treonina	6.450	244, 302, 303, 376, 404
Fenilalanina	6.690	218, 234, 302, 308, 336
Ácido aspártico	6.830	244, 316, 390, 415, 418
Cisteína	7.000	246, 304, 378, 380, 406
Ácido glutámico	7.195	170, 272, 300, 330, 432
Lisina	7.570	170, 198, 225, 272, 300
Glutamina	7.725	198, 271, 357, 385, 431
Histidina	8.450	196, 280, 299, 338, 440
Tirosina	8.685	218, 302, 364, 438, 466
Triptófano	9.010	130, 147, 302, 375

4.6.5 Curvas de calibración

Se preparó una curva de calibración de 6 niveles de los 18 aminoácidos. La curva se preparó mediante diluciones seriales 1:2 de los estándares iniciales; así las concentraciones de cada nivel son 91, 45.5, 22.7, 11.4, 5.7 y 2.8 µg/mL de cada aminoácido, de cada nivel se tomaron alícuotas de 50 µL y se formaron los derivados, la

curva de calibración se inyectó al equipo GC-MS el mismo día de su preparación y el procedimiento se realizó por 3 días seguidos.

Las curvas de calibración para cada aminoácido se encuentran en el Anexo I.

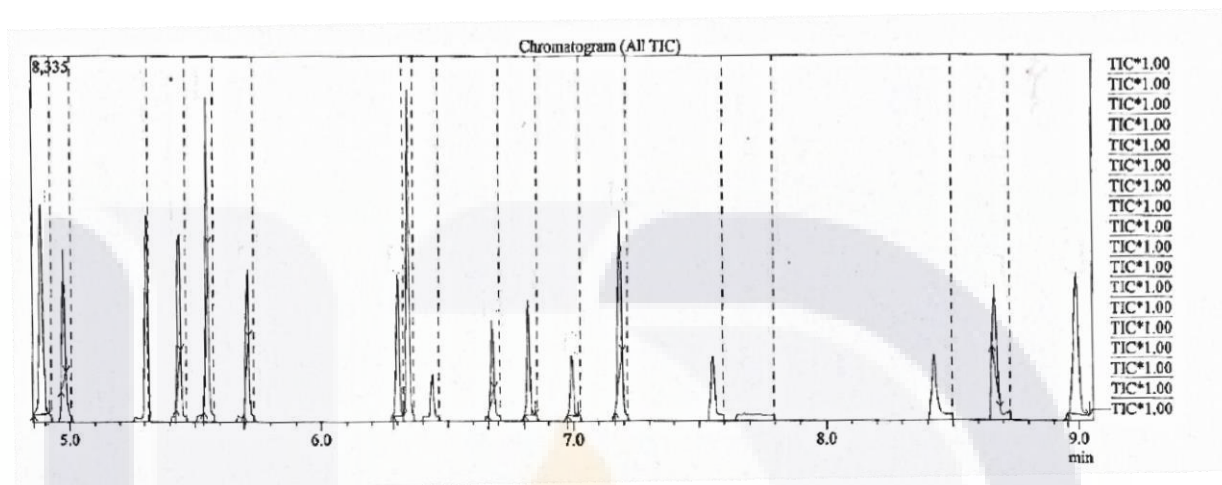


Figura 9. Cromatograma de curva de calibración de concentración de 91 $\mu\text{g/mL}$ en modo SIM, de los derivados de terc-bitildimetilsilil de los aminoácidos probados en el análisis GC-MS.

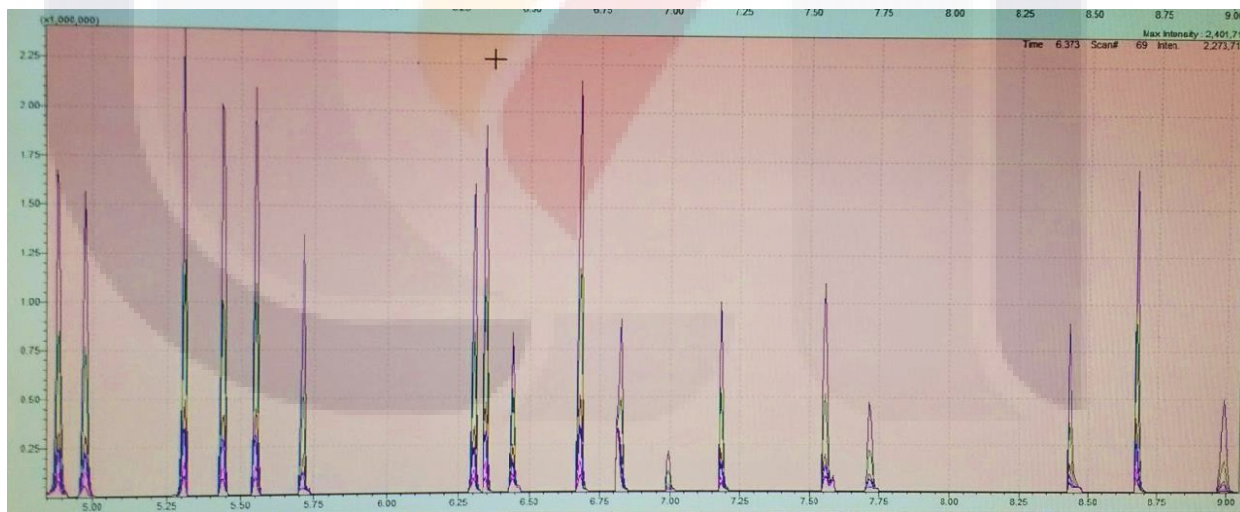


Figura 10. Comparación de los cromatogramas de la curva de calibración de concentraciones de 91, 45.5, 22.7, 11.4, 5.7 y 2.8 $\mu\text{g/mL}$ en modo SIM, de los derivados de terc-bitildimetilsilil de los aminoácidos probados en el análisis GC-MS.

4.6.6 Procesamiento de las muestras hidrolizadas

A los hidrolizados de insectos y harina de pescado se le agregarón 2 mL de HCl 0.1 N y se mezclaron para obtener una solución homogénea. De esta solución se tomó un μL y se llevó a 1000 μL con HCl 0.1 N (1:1000), de la dilución anterior se tomaron alícuotas de 50 μL y se formarán los derivados para inyectarlos en el equipo GC-MS.

4.8 Análisis Estadístico

Las variables de respuesta se analizarán con un diseño completamente al azar bajo el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

Dónde: Y_{ij} : Variable de respuesta en el i ésimo tratamiento de la j ésima repetición. μ : Media general T_i : Efecto del i -ésimo (tratamiento Cucaracha de Madagascar (*Gromphadorhina portentosa*) y Tenebrios (*Tenebrio molitor*)), E_{ij} : Error aleatorio

Los datos obtenidos los resultados de las variables se analizarán con el programa estadístico SAS® versión 9.1, las diferencias entre promedios se identificarán a través de la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 0.05%.

RESULTADOS

4.1 Resultados Del Análisis Químico Proximal (AQP)

Los resultados del análisis químico proximal de las harinas estudiadas se muestran en el cuadro 2.

Cuadro 2. Composición aproximada de las fuentes de proteína evaluadas (%), los resultados se expresan en base seca.

	Fuentes de proteína					
	HT A	HT L	HC	HS	HP	HA
Humedad (%)	6.58 ± 1.08	3.99 ± 0.86	3.82 ± 0.16	11.35 ± 0.56	7.14 ± 0.13	8.62 ± 0.30
Materia seca (%)	93.42 ± 1.08	96.01 ± 0.86	96.18 ± 0.16	88.65 ± 0.56	92.85 ± 0.01	91.28 ± 0.30
Cenizas (%)	4.97 ± 0.06	4.83 ± 0.08	4.54 ± 0.09	4.79 ± 0.06	27.40 ± 0.20	0.018 ± 0.08
Extracto etéreo (%)	4.62 ± 1.56	22.47 ± 1.76	12.02 ± 0.96	18.80 ± 1.04	7.84 ± 0.33	5.37 ± 0.09
Proteína cruda (N x 6.25) (%)	63.31 ± 0.37	51.42 ± 0.51	68.73 ± 0.57	39.90 ± 0.48	52.05 ± 0.34	14.05 ± 0.06
Fibra cruda (%)	15.46 ± 0.35	8.92 ± 0.94	14.95 ± 0.46	5.80 ± 0.36	3.56 ± 0.10	12.14 ± 0.63
Extracto libre de nitrógeno (%)	4.94 ± 1.09	8.37 ± 2.43	5.13 ± 0.98	19.36 ± 1.23	2.00 ± 0.96	59.85 ±

HT A: Harina de adultos de *Tenebrio molitor*, HT L: Harina de larvas de *Tenebrio molitor*, HC: Harina de *Gromphadorhina portentosa*, HP: Harina de pescado, HS: Harina de soya y HA: Harina de amaranto; n=3

4.2 Resultados del análisis de las Fibras Detergentes Neutras (FDN) y Ácidas (FDA)

Los resultados del análisis de las fibras detergentes neutras (FDN) y ácidas (FDA), se muestran en el cuadro 3.

Cuadro 3. Fibra detergente neutra y ácida de las diferentes fuentes de proteína estudiadas.

	Fuente de Proteína				
	HT A	HT L	HC	HP	HS
Fibra Detergente Neutra (FDN) (%)	5.58 ± 0.01	n.d.	32.90 ± 0.01	59.48 ± 0.02	n.d.
Fibra Detergente Ácida (FDA) (%)	4.78 ± 0.01	6.57 ± 0.02	57.06 ± 0.01	70.30 ± 0.02	7.65 ± 0.03

HT A: Harina de adultos de *Tenebrio molitor*, HT L: Harina de larvas de *Tenebrio molitor*, HC: Harina de *Gromphadorhina portentosa*, HP: Harina de pescado, HS: Harina de soya; n=2; n.d.= no determinado

4.3 Resultados del análisis de la digestibilidad de la materia orgánica

Los resultados de la Digestibilidad de la Materia Orgánica por el método de Kesting, se muestran en el cuadro 4.

Cuadro 4. Digestibilidad de la materia orgánica por el Método de Kesting (KOH).

	Fuente de proteína				
	HT A	HT L	HC	HP	HS
Digestibilidad (%)	80.94 ± 1.68	82.10 ± 0.79	90.43 ± 0.22	81.89 ± 0.54	84.23 ± 1.75

HT A: Harina de adultos de *Tenebrio molitor*, HT L: Harina de larvas de *Tenebrio molitor*, HC: Harina de *Gromphadorhina portentosa*, HP: Harina de pescado, HS: Harina de soya; n=3.

4.4 Resultados del análisis de aminoácidos de las muestras de harinas

Los cromatogramas resultantes del estudio de aminoácidos de las diferentes muestras de harina se muestran en las figuras 11 a 15.

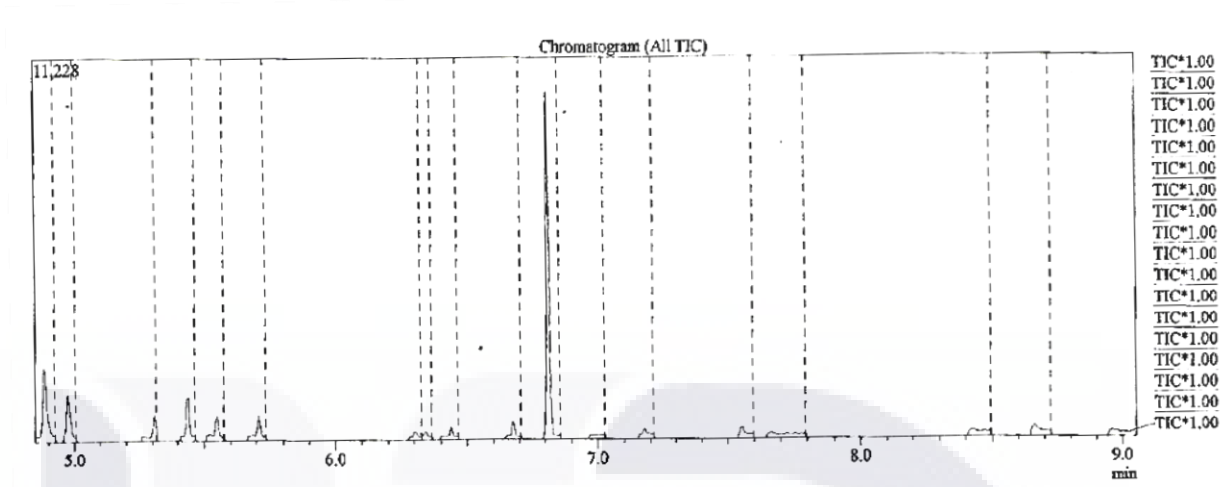


Figura 11. Cromatograma de la muestra derivatizada de hidrolizado de harina de pescado dilución 1:100 en modo SIM, probada en el análisis GC-MS.

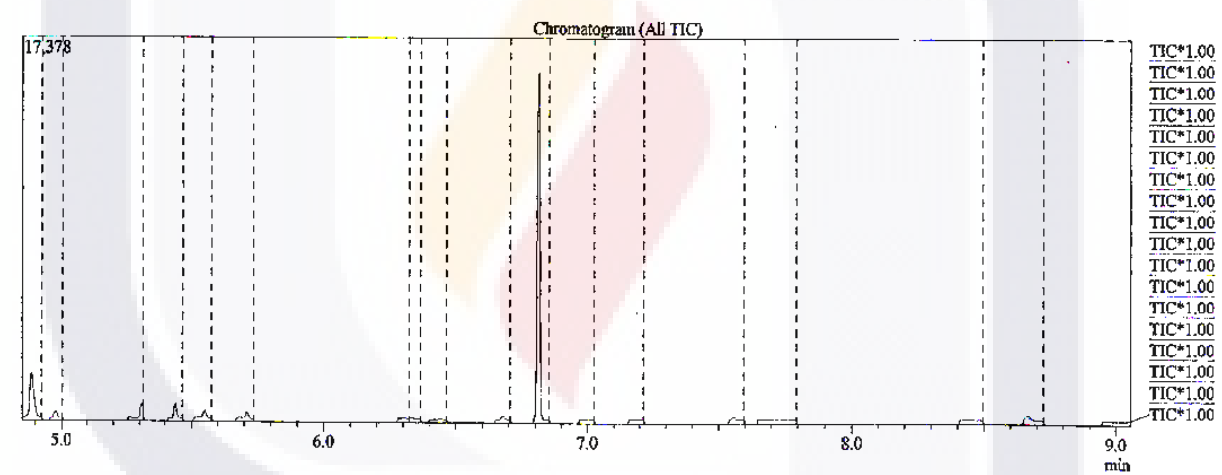


Figura 12. Cromatograma de la muestra derivatizada de hidrolizado de harina de cucaracha de Madagascar dilución 1:100 en modo SIM, probada en el análisis GC-MS.

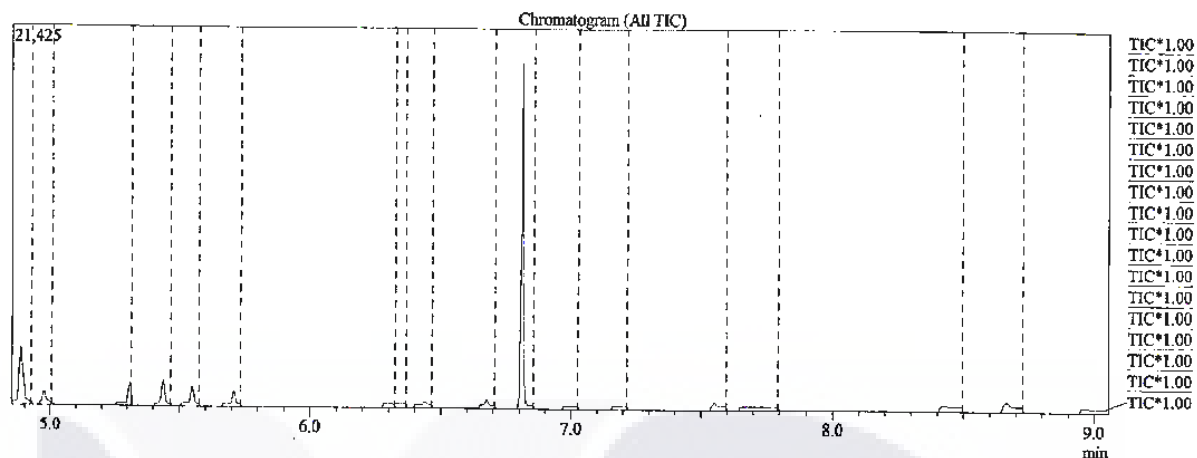


Figura 13. Cromatograma de la muestra derivatizada de hidrolizado de harina de larvas de *Tenebrio molitor* dilución 1:100 en modo SIM, probada en el análisis GC-MS.

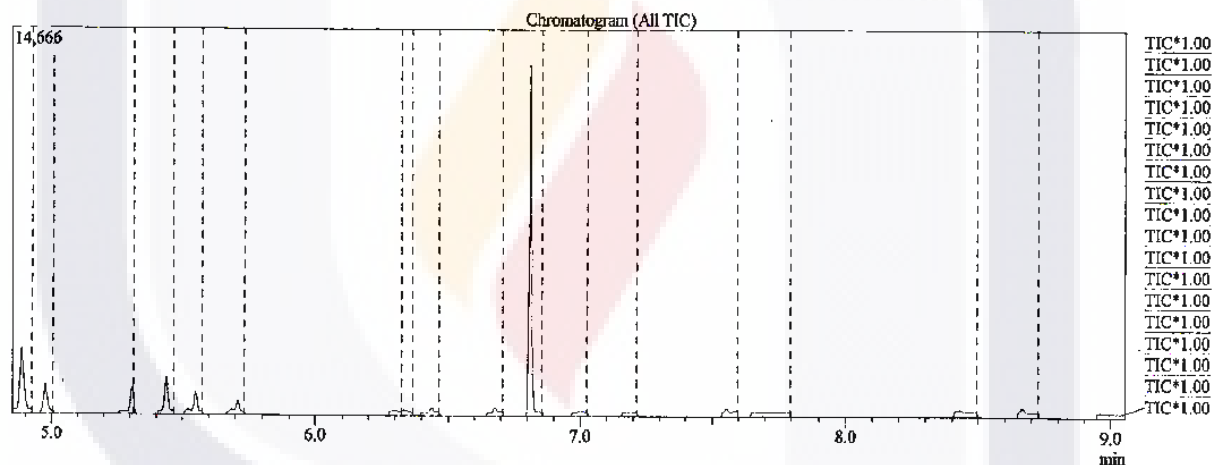


Figura 14. Cromatograma de la muestra derivatizada de hidrolizado de harina de adultos de *Tenebrio molitor* dilución 1:100 en modo SIM, probada en el análisis GC-MS.

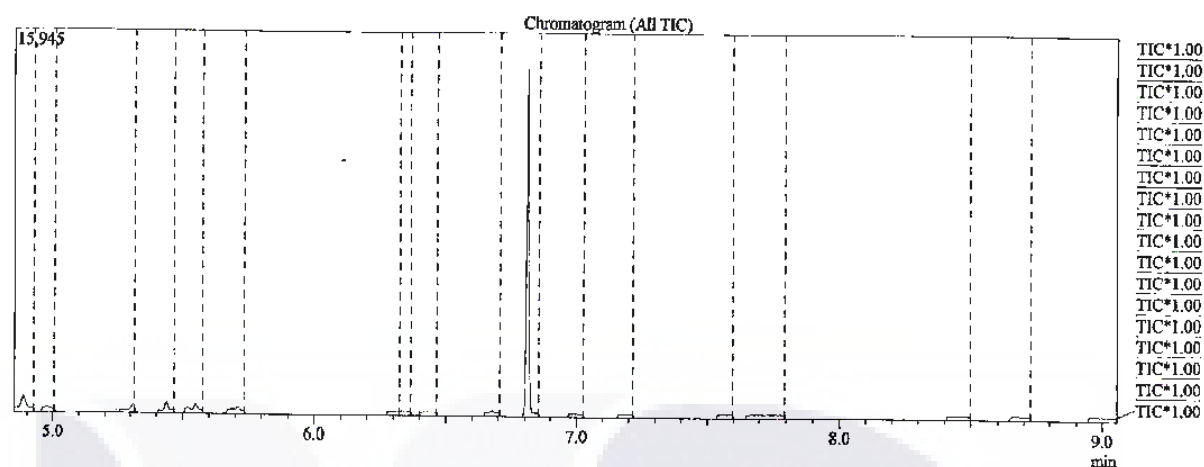


Figura 15. Cromatograma de la muestra derivatizada de hidrolizado de harina de soya dilución 1:100 en modo SIM, probada en el análisis GC-MS.

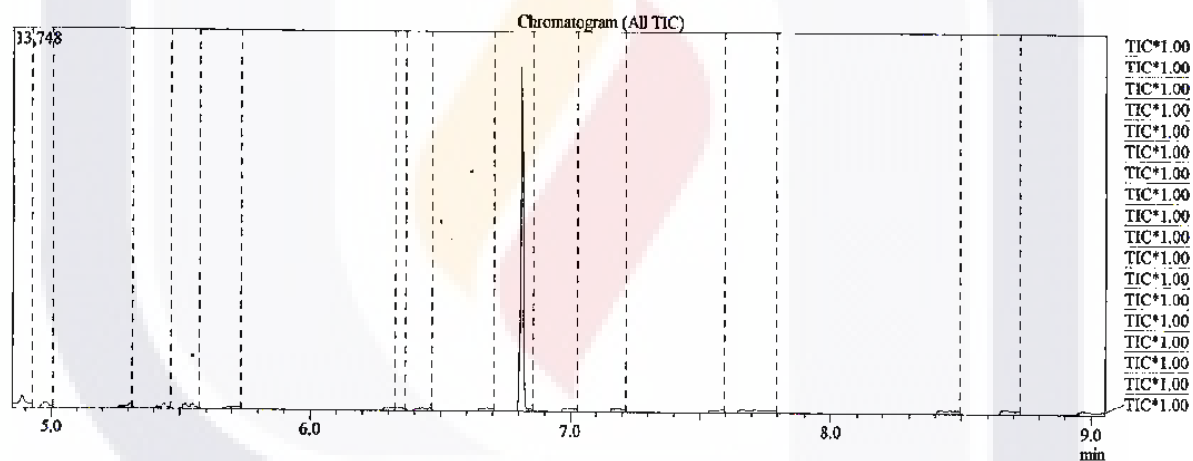


Figura 16. Cromatograma de la muestra derivatizada de hidrolizado de harina de amaranto dilución 1:100 en modo SIM, probada en el análisis GC-MS.

Los resultados de los aminoácidos encontrados en las diferentes harinas probadas en este estudio se muestran en el cuadro 5.

Cuadro 5. Derivados de terc-bitildimetilsilil de los aminoácidos encontrados en los hidrolizados de harinas probadas en el análisis GC-MS.

Aminoácidos (mg/g de proteína cruda)	Fuente de Proteína					
	HT A	HT L	HC	HP	HS	HA
Aminoácidos Esenciales						
Valina	57.15	49.67	38.52	47.91	38.97	26.57
Leucina	49.36	39.81	54.90	55.95	34.46	17.25
Isoleucina	N.D.	36.67	33.08	39.25	24.65	5.87
Metionina	6.08	3.03	7.93	9.78	7.07	N.D.
Treonina	81.24	61.37	23.53	120.46	20.36	44.98
Fenilalanina	71.16	73.67	52.96	172.94	36.96	49.53
Cisteína	19.52	23.97	20.03	N.D.	16.78	1.91
Lisina	56.06	66.99	89.51	104.02	51.40	37.78
Histidina	108.03	72.92	127.20	62.77	N.D.	4.89
Tirosina	28.84	11.05	40.04	11.05	60.04	3.20
Aminoácidos No Esenciales						
Alanina	39.41	44.25	34.90	51.80	24.67	16.60
Glicina	33.81	45.69	28.15	155.32	10.76	16.10
Prolina	39.20	41.78	24.37	128.48	23.62	13.29
Serina	4.83	2.96	N.D.	14.40	2.54	14.27
Ácido aspártico	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ácido glutámico	36.96	28.23	N.D.	3.25	N.D.	N.D.
Glutamina	3.18	N.D.	3.19	N.D.	131.92	N.D.

HT A: Harina de adultos de *Tenebrio molitor*, HT L: Harina de larvas de *Tenebrio molitor*, HC: Harina de *Gromphadorhina portentosa*, HP: Harina de pescado, HS: Harina de soya y HA: Harina de amaranto; N.D.= No Detectado. n=3.

DISCUSIÓN

6.1 Análisis Químico Proximal (AQP) de las Harinas

El contenido de humedad de las cinco diferentes fuentes de proteína varía desde un 3% en las harinas de cucaracha de Madagascar y de larvas de *T. molitor*, a un 11%, siendo la harina de soya la que más humedad retiene de todas; el contenido de grasas (extracto etéreo) va desde un 4% en la harina de escarabajos (adultos) de *T. molitor* a un 22% en la harina de larvas de *T. molitor*; la proteína cruda desde un 39% en la harina de soya hasta un 68% en la harina de cucaracha de Madagascar; los porcentajes de fibra cruda de las diferentes harinas fueron de 3% en la harina de pescado hasta un 15% en la harina de escarabajos de *T. molitor*.

El contenido de proteína cruda, fibra cruda y extracto libre de nitrógeno de la harina de escarabajos de *T. molitor* es comparable a la obtenida por (Ramos-Elorduy J. *et al.*, 2002; Finke, 2002); La composición aproximada de la harina de larvas de *T. molitor* ha sido estudiada más a fondo y los resultados se comparan con los obtenidos por (Makkar *et al.*, 2014; Sánchez-Muros *et al.*, 2016); para la harina cucaracha de Madagascar no se han obtenido reportes detallados sobre la composición aproximada, aunque se han estudiado otras especies de cucarachas por (Julio, Diaz, Tovar, y Hernández, 2009; Rumpold y Schlüter, 2013; Yi *et al.*, 2013) y el contenido de proteína cruda, extracto libre de nitrógeno y cenizas es comparable a los obtenidos por (Ramos-Elorduy Blasquez *et al.*, 2012); cabe destacar que los valores de proteína cruda incluyen a la quitina que se encuentra unida a los exoesqueletos, por lo que el contenido total podría estar sobre estimado. Las harinas de insectos tienen mayor contenido de grasa, proteína cruda y fibra cruda que las harinas de pescado y soya, que son las harinas más comúnmente usadas en la industria de alimentos balanceados, por lo que se pueden considerar como un buen ingrediente para ser incluido en los diferentes tipos de dietas, principalmente para uso en la acuicultura.

Los resultados de la composición proximal de las fuentes de proteína se muestran en el cuadro 2.

6.2 Análisis de las Fibras Detergentes Neutras y Ácidas

Para el análisis de los diferentes tipos de fibras, fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácida (FDA), los resultados demuestran ser muy variados entre los tipos de harinas, aunque los valores de la harina de *T. molitor*, ya sea de los escarabajos o de las larvas, son los que muestran mayor similitud con los de la harina de soya; no se encuentran muchos datos en la literatura sobre las mismas; para la harina de larvas de *T. molitor* el contenido de FDA es similar al reportado por (Makkar *et al.*, 2014b); los datos reportados por (Oonincx y Dierenfeld, 2012) para la FDN de la cucaracha de Madagascar son comparables con los obtenidos en este estudio, los resultados de FDN y FDA para la harina de pescado son similares a los obtenidos por (Al-Abri *et al.*, 2014).

Los resultados del análisis de las Fibras Detergentes Neutras y Ácidas muestran en el cuadro 3.

6.3 Análisis de la digestibilidad de la materia orgánica

En el análisis de la digestibilidad de la materia orgánica los resultados muestran que la harina de cucaracha de Madagascar es la que mayor digestibilidad tiene con un 90%, seguida de la harina de soya, la de larvas de *T. molitor*, la de pescado y por último la harina de escarabajos de *T. molitor* con un 81%; para la harina de larvas de *T. molitor* y para la harina de soya son similares a los obtenidos por (Józefiak *et al.*, 2016) para la harina obtenida de los escarabajos de *T. molitor* no se han encontrado datos en la literatura; la harina de cucaracha de Madagascar tiene un porcentaje de materia orgánica similar al reportado por (Rubio-Daniela, Melo-Virginia, y Rubio-Alejandro, 2015).

Los resultados de la Digestibilidad de la Materia Orgánica por el método de Kesting, se muestran en el cuadro 4.

6.4 Análisis de Aminoácidos

Para determinar la calidad de las proteínas de los insectos estudiados es importante analizar la composición de los aminoácidos que las constituyen. La harina de larvas de *T. molitor* y la harina de cucaracha de Madagascar contienen todos los aminoácidos esenciales en cantidades adecuadas y comparables a los de la harina de pescado comercial; inclusive en algunos casos son mayores como en el de la histidina y tirosina. Y son valores más altos que los encontrados en la harina de soya con la excepción de la isoleucina que en la harina de escarabajos de *T. molitor* no fue posible de detectar con el método utilizado, y la metionina que es menor su contenido en la harina antes mencionada. La suma de aminoácidos totales en la proteína cruda fue mayor en la harina de pescado comercial (807 mg/g), seguido por la harina de escarabajos de *T. molitor* (580 mg/g), la de larvas de *T. molitor* (578 mg/g), la de cucaracha de Madagascar (422.32 mg/g) y por último la harina de soya; estos resultados pueden ser un poco bajos debido a que algunos de los aminoácidos no esenciales no se pudieron detectar con el método propuesto en este proyecto; pero es importante señalar que las harinas de insectos tienen un mejor valor que la harina de soya; que es el principal sustituto de la harina de pescado en la fabricación de alimentos balanceados para consumo animal; los resultados obtenidos son similares a los reportados por (Dietz y Liebert, 2018; Makkar *et al.*, 2014b; Rumpold y Schlüter, 2013); aunque para la cucaracha de Madagascar aún no hay reportes del contenido de aminoácidos esenciales o no esenciales.

Los resultados de los aminoácidos encontrados en las diferentes harinas probadas en este estudio se muestran en el cuadro 5.

Los resultados de este estudio permiten formular dietas para consumo animal mejor balanceadas y con el uso de harinas de insectos como alternativas proteicas que son mejores para el medio ambiente que las que se encuentran actualmente en el mercado, ya que los insectos representan una menor huella de carbono, tienen una mejor conversión de alimento a proteínas, pueden ser alimentados con desperdicios que integran a su biomasa y requieren poco terreno para su producción. Los insectos tienen un mejor perfil nutricional que la harina de soya y una mayor digestibilidad de la materia orgánica lo que los convierte en un potencial ingrediente estándar para la fabricación de piensos.

CONCLUSIONES.

Se deben estudiar con mayor profundidad las harinas de insectos para poder darles mejores usos, otra técnica podría ser la obtención de aminoácidos para suplementarlas dietas del ganado y la obtención de aceites, ya que la literatura muestra buenas posibilidades para que los aceites de insectos sean un sustituto para el aceite de pescado que se usa en la actualidad; además es importante considerar los posibles factores tóxicos propios de los insectos que se piensan utilizar en la elaboración de harinas; ya que pueden disminuir las variables de respuesta del crecimiento de diferentes especies de interés ganadero o de las especies de la acuicultura.

REFERENCIAS

- Adams, C. K., Saenz, D., & Conner, R. N. (2011). Palatability of Twelve Species of Anuran Larvae in Eastern Texas. *The American Midland Naturalist*, 166(1), 211–223. <https://doi.org/10.1674/0003-0031-166.1.211>
- Al-Abri, A. S., Mahgoub, O., Kadim, I. T., Al-Marzooqi, W., Goddard, S. J., Al-Farsi, M., & Al, M. (2014). Processing and evaluation of nutritive value of fish silage for feeding Omani sheep. *Journal of Applied Animal Research*, 42(4), 406–413. <https://doi.org/10.1080/09712119.2013.875909>
- Alltech. (2017) Press Releases. Alltech continues commitent to sustainable aquaculture research, alliances and solutions from <https://www.alltech.com/press-release/alltech-continues-commitment-sustainable-aquaculture-research-alliances-and-solutions>
- AMAS (Asociación Mexicana de Alimentos de Soya) A.C. | Información. (2018). Retrieved October 31, 2018, from <https://www.soyamex.org/informacion>
- ANFACA. Asociación Nacional de Fabricantes de Alimentos para Consumo Animal. (2018) Memoria economica 2018.
- AOAC. (1984). AOAC Official Methods of Analysis. *Association of Official Agricultural Chemists. Washington, D.C., 12th*(Volume 1), 213-325.
- AOAC. (1990). AOAC Official Methods of Analysis. *Association of Official Agricultural Chemists. Washington, D.C., 15th*(Volume 1), 136–138.
- AOAC. (2006). AOAC Official Methods of Analysis. *Association of Official Agricultural Chemists. Washington, D.C., 18th*(Volume 1), 164–172.
- Barroso, F. G., De Haro, C., Sánchez-Muros, M.-J., Venegas, E., Martínez-Sánchez, A., & Pérez-Bañón, C. (2014). The potential of various insect species for use as food for fish. *Aquaculture*, 422–423, 193–201. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.12.024>
- Belforti, M., Gai, F., Lussiana, C., Renna, M., Malfatto, V., Rotolo, L., Gasco, L. (2015). Tenebrio molitor meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets: Effects on animal performance, nutrient digestibility and chemical composition of fillets. *Italian Journal of Animal Science*, 14(4), 670–676. <https://doi.org/10.4081/ijas.2015.4170>
- Biasato, I., De Marco, M., Rotolo, L., Renna, M., Lussiana, C., Dabbou, S., ... Schiavone,

- A. (2016). Effects of dietary *Tenebrio molitor* meal inclusion in free-range chickens. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 100(6), 1104–1112. <https://doi.org/10.1111/jpn.12487>
- Carrel, J. E., & Tanner, E. M. (2002). Sex-Specific Food Preferences in the Madagascar Hissing Cockroach *Gromphadorhina portentosa* (Dictyoptera: Blaberidae). *Journal of Insect Behavior*, 15(5). Retrieved from <http://download.springer.com.dibpxy.uaa.mx>
- Caselato-Sousa, V. M., & Amaya-Farfán, J. (2012). State of Knowledge on Amaranth Grain: A Comprehensive Review. *Journal of Food Science*, 77(4), 93–104. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02645.x>
- Catania Eduardo. (2013). Acuicultura: alta conversión de alimento a carne - 13.04.2013 - LA NACION. Retrieved May 7, 2017, from <http://www.lanacion.com.ar/1571887-acuicultura-alta-conversion-de-alimento-a-carne>
- Chauhan, A., Saxena, D. C., & Singh, S. (2015). Total dietary fibre and antioxidant activity of gluten free cookies made from raw and germinated amaranth (*Amaranthus* spp.) flour. *LWT - Food Science and Technology*, 63, 939–945. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.115>
- Chemists, A. of O. A. (2006). *Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL*. (L. G. W. Horwitz William, Ed.), *AOAC INTERNATIONAL* (18th ed.). Maryland.
- Chiu, A., Li, L., Guo, S., Bai, J., Fedor, C., & Naylor, R. L. (2013). Feed and fishmeal use in the production of carp and tilapia in China. *Aquaculture*, 414–415, 127–134. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.07.049>
- Clark, D., Shanklin, D., y Wallin, B. (1995). MADAGASCAR HISSING COCKROACHES, *Gromphadorhina portentosa*. Retrieved from <https://entomology.ca.uky.edu/files/efpdf1/ef014.pdf>
- Centro de Desarrollo Industrial del Ecuador, C. (1965). *Alimentos balanceados*. Retrieved from https://books.google.com.mx/books?id=dS0_AAAAYAAJ
- CONAPESCA, (2014). Producción pesquera. Consulta específica 2014. from http://www.campomexicano.gob.mx/raw_pesca_gobmx/seccionar.php
- CONAPESCA, (2018) Produce acuicultura mexicana más de 400 mil toneladas de

pescados y mariscos. Comunicado from
<https://www.gob.mx/conapesca/prensa/produce-acuacultura-mexicana-mas-de-400-mil-toneladas-de-pescados-y-mariscos-172466>

- De Marco, M., Martínez, S. . H. F. . M. J. . G. F. . R. L. . B. M. . B. D. . K. H. . D. S. . K. A. . Z. I. . G. L. . S. A., Hernandez, F., Madrid, J., Gai, F., Rotolo, L., ... Schiavone, A. (2015). Nutritional value of two insect larval meals (*Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens*) for broiler chickens: Apparent nutrient digestibility, apparent ileal amino acid digestibility and apparent metabolizable energy. *Animal Feed Science and Technology*, 209(209), 211–218. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.08.006>
- Dietz, C., y Liebert, F. (2018). Does graded substitution of soy protein concentrate by an insect meal respond on growth and N-utilization in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)? *Aquaculture Reports*, 12, 43–48. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2018.09.001>
- Diogo, A., Vieira, S., Bedani, R., Albuquerque, M. A. C., Biscola, V., Marta, S., & Saad, I. (2017). The impact of fruit and soybean by-products and amaranth on the growth of probiotic and starter microorganisms. *Food Research International*, 97, 356–363. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.04.026>
- FAO. (2012). Insects as animal feed. *Edible Insects: Future Prospects for Food and Feed Security*, 89–97.
- FAO. (2016a). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2016. Contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos., 224. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i5555s.pdf>
- FAO. (2016b). PRO te INSECT Conference INSECTS as FOOD and FEED: A global perspective, (April).
- FAO. (2018). *El Estado Mundial De La Pesca Y La Acuicultura*. Roma. Retrieved from <http://www.fao.org/publications/es>
- Finke, M.D., 2002. Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores. *Zoo Biol.* 21 269 - 285
- Halloran, A., Roos, N., Eilenberg, J., Cerutti, A., Bruun, S., y Halloran, Afton Roos, Nanna Eilenberg, Jorgen Cerutti, Alessandro Bruun, S. (2016). Life cycle assessment of edible insects for food protein: a review, 36(4). <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0392-8>

- Henry, M., Gasco, L., Piccolo, G., & Fountoulaki, E. (2015). Review on the use of insects in the diet of farmed fish: Past and future. *Animal Feed Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.03.001>
- Heyborne, W. H., Fast, M., & Goodding, D. D. (2012). The Madagascar Hissing Cockroach: A New Model for Learning Insect Anatomy. *The American Biology Teacher*, 74(3), 185–189. <https://doi.org/10.1525/abt.2012.74.3.11>
- Jackson, A. (2012). Fishmeal & fish oil and its role in sustainable aquaculture. *International Aquafeed*, 2011(5), 18–21. Retrieved from [http://www.iffonet.org/system/files/Article International Aquafeed October 2012.pdf](http://www.iffonet.org/system/files/Article%20International%20Aquafeed%20October%202012.pdf)
- Ji, Y. J., Liu, H. N., Kong, X. F., Blachier, F., Geng, M. M., Liu, Y. Y., & Yin, Y. L. (2016). Use of insect powder as a source of dietary protein in early-weaned piglets¹. *Journal of Animal Science*, 94, 111–116. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9555>
- Jobling, M. (2016). Fish nutrition research: past, present and future. *Aquaculture International*, 24(3), 767–786. <https://doi.org/10.1007/s10499-014-9875-2>
- Jones, A. C., Mead, A., Kaiser, M. J., Austen, M. C. V., Adrian, A. W., Auchterlonie, N. A., ... Sutherland, W. J. (2015). Prioritization of knowledge needs for sustainable aquaculture: A national and global perspective. *Fish and Fisheries*, 16(4), 668–683. <https://doi.org/10.1111/faf.12086>
- Józefiak, D., Józefiak, A., Kierończyk, B., Rawski, M., Świątkiewicz, S., Długosz, J., & Engberg, R. M. (2016). 1. Insects – A Natural Nutrient Source for Poultry – A Review. *Annals of Animal Science*, 16(2), 297–313. <https://doi.org/10.1515/aoas-2016-0010>
- Julio, E., Diaz, B., Tovar, C. Y., & Hernández, A. G. (2009). Evaluación nutricional de la proteína de cucaracha, 3(1), 59–68.
- Kazubek-Zemke, M., Rybka, J., Marchewka, Z., Rybka, W., Pawlik, K., & Długosz, A. (2014). Preliminary study on application of urine amino acids profiling for monitoring of renal tubular injury using GLC-MS. *Postępy Hig Med Dosw*, 68(68), 1299–1311. Retrieved from www.phmd.pl
- Kenis, M., Koné, N., Chrysostome, C. A. A. M., Devic, E., Koko, G. K. D., Clottey, V. A., ... Mensah, N. K. C. A. A. M. C. E. D. G. K. D. K. V. A. C. S. N. G. A. (2014). Insects used for animal feed in West Africa. *Entomologia*, 2(2), 107–114.

<https://doi.org/10.4081/entomologia.2014.218>

- Kesting, U., 1978. Über neuere Ergebnisse einer vereinfachten in vitro Methode zur Schätzung der Verdaulichkeit der organischen Substanz ohne Pansensaft. *Arch. Tiernaehr.*, 28: 491--497.
- Lähteenmäki-Uutela, A., Grmelová, N., Hénault-Ethier, L., Deschamps, M. H., Vandenberg, G. W., Zhao, A., ... Nemanic, V. (2017). Insects as food and feed: Laws of the European union, United States, Canada, Mexico, Australia, and China. *European Food and Feed Law Review*, 12(1), 22–36. <https://doi.org/10.3920/JIFF2015.x002.2>
- Makkar, H. P. S., Tran, G., Heuzé, V., & Ankers, P. (2014a). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008>
- Makkar, H. P. S., Tran, G., Heuzé, V., & Ankers, P. (2014b). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, 197, 1–33. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008>
- Miryam -Sandrigo-Ybran Tatiana -Bar, D. P., & -Oscherov, M. E. (n.d.). Ciclo de Vida de Tenebrio molitor (Coleoptera, Tenebrionidae) en Condiciones Experimentales. *Cátedra de Artrópodos*. Retrieved from <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/biologia/b-011.pdf>
- Molnár-Perl, I., & Katona, Z. E. (2000). GC-MS of Amino Acids as Their Trimethylsilyl/t-butylidimethylsilyl Derivatives: in Model Solutions III. *Chromatographia Supplement*, 51, 228–236. Retrieved from <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2FBF02492811.pdf>
- NOTIMEX. (2016). Científicos elaborarán harina a base de cucarachas de Madagascar | La Crónica de Hoy. Retrieved May 16, 2017, from <http://www.cronica.com.mx/notas/2016/957656.html>
- Oonincx, D. G. A. B., y Dierenfeld, E. S. (2012). An investigation into the chemical composition of alternative invertebrate prey. *Zoo Biology*, 54(March 2011), 40–54. <https://doi.org/10.1002/zoo.20382>
- Paul, A., Frederich, M., Megido, R. C., Alabi, T., Malik, P., Uyttenbroeck, R., ... Danthine, S. (2017). Insect fatty acids: A comparison of lipids from three Orthopterans and Tenebrio

- molitor L. larvae. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 20(2), 337–340.
<https://doi.org/10.1016/j.aspen.2017.02.001>
- Porr, Madeleine (2012), “El amaranto pequeñas semillas con fuerzas colo sales” (consultado en mayo de 2018), disponible en <http://www.el-pan-alegre.org/Guia_Amaranto.pdf >
- Ramos-Elorduy, Julieta. Avila Gonzalez, Ernesto. Rocha Hernández, Alma. Pino, Jose Manuel. (2002). Use of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) to recycle Organic Wastes and as Feed for Broiler Chickens. *Journal of Economic Entomology*. 95 (1); 214 - 220. from <http://www.bioone.org/doi/pdf/10.1603/0022-0493-95.1.214>
- Ramos-Elorduy Blasquez, J., Pino Moreno, J. M., Martinez Camacho, V. H., (2012). Could grasshoppers be a nutritive meal. *Food Nutr. Sci.*, 3, 164–175.
- Robertson JB, Van Soest PJ. 1981. The detergent system of analysis and its application to human foods. In: James WPT, and Theander O, editors. Page 123 in the analysis of dietary fiber in foods. Marcel Dekker, New York (NY).
- Rubio-Daniela, Melo-Virginia, N.-N. &, & Rubio-Alejandro. (2015). *Revista de Tecnología e Innovación Diseño de una golosina tradicional a base de Apis Mellifera o Gromphadolina portentosa que contribuya en el aporte energético de la dieta diaria. Junio* (Vol. 2). Retrieved from www.ecorfan.org/bolivia
- Rumpold, B. A., y Schlüter, O. K. (2013). Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition and Food Research*, 57(5), 802–823.
<https://doi.org/10.1002/mnfr.201200735>
- Sánchez-Muros, M. J., de Haro, C., Sanz, A., Trenzado, C. E., Villareces, S., & Barroso, F. G. (2016). Nutritional evaluation of *Tenebrio molitor* meal as fishmeal substitute for tilapia (*Oreochromis niloticus*) diet. *Aquaculture Nutrition*, 22(5), 943–955.
<https://doi.org/10.1111/anu.12313>
- Salvador, L. M. (2016). Seguridad alimentaria, autosuficiencia y disponibilidad del amaranto en México. *Problemas Del Desarrollo*, 47(47), 107–132.
<https://doi.org/10.1016/j.rpd.2016.08.004>
- Samir Vedia-Quispe, V., Deyse Gurak, P., Karin Espinoza, S., y Antonio Ruano-Ortiz, J. (2016). Calidad fisicoquímica, microbiológica y sensorial de tallarines producidos con

sustitución parcial de sémola de trigo por harina de amaranto. *Spanish Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 20(3), 190–197.
<https://doi.org/10.14306/renhyd.20.3.215>

Sánchez-Muros, M.-J., Barroso, F. G., & Manzano-Agugliaro, F. (2014). Insect meal as renewable source of food for animal feeding: a review. *Journal of Cleaner Production*, 65, 16–27. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.068>

Santacruz De León, E. E. (2008). *La producción de amaranto en el Estado de México*. Estado de México. Retrieved from <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/mx/2011/eesl3.pdf>

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, P. y A. (2015). Exporta México 215 mil toneladas de harinas de pescado a China en 2015 | Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación | Gobierno | gob.mx. Retrieved March 29, 2017, from <http://www.gob.mx/sagarpa/prensa/exporta-mexico-215-mil-toneladas-de-harinas-de-pescado-a-china-en-2015>

SIAP Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2017) Atlas Agroalimentario 2017

SIAP Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2018) Cierre Estadístico de la producción ganadera 2017, from <https://www.gob.mx/siap/articulos/cierre-estadistico-de-la-produccion-ganadera-2017?idiom=es>

Soto, H. (2003). GUSANOS DE LA HARINA (Larvas de Tenebrio molitor). *El Canario Uruguayo*, 2, 39–40. Retrieved from http://ornitouy.com/Gusanos_del_harina.pdf

Statistical Analysis System (SAS). Institute. SAS/STAT 9.1.3. 2006. User's guide. Cary, NC, USA.1686 p

Stenerson K. K, (2007). The Derivatization and Analysis of Amino Acids by GC-MS. US Reporter. from <https://www.sigmaaldrich.com/technical-documents/articles/reporter-us/the-derivatization.printerview.html>

Van Broekhoven, S., Oonincx, D. G. A. B., Van Huis, A., Van Loon, J. J. A., Brocato, J., Costa, M., ... Van Loon, J. J. A. (2015). Growth performance and feed conversion efficiency of three edible mealworm species (Coleoptera: Tenebrionidae) on diets composed of organic by-products. *Waste Management*, 73, 1–10.

<https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2014.12.005>

Van Der Spiegel, M., Noordam, M. Y. Y., y Van Der Fels-Klerx, H. J. J. (2013). Safety of novel protein sources (insects, microalgae, seaweed, duckweed, and rapeseed) and legislative aspects for their application in food and feed production. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(6), 662–678. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12032>

Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A. 1991. Symposium: carbohydrate methodology, metabolism, and nutritional implications in dairy cattle. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74: 3583-3597

Yi, L., Lakemond, C. M. M., Sagis, L. M. C., Eisner-Schadler, V., Van Huis, A., & Van Boekel, M. A. J. S. (2013). Extraction and characterisation of protein fractions from five insect species. *Food Chemistry*, 141, 3341–3348. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.115>

ANEXO

Anexo 1.

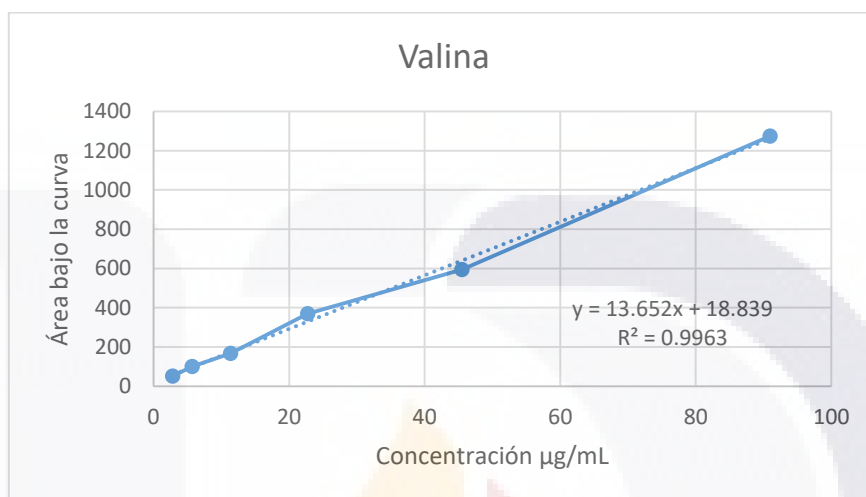


Figura 16. Curva de calibración para el derivado de tercbutildimetilsilil del aminoácido Valina.

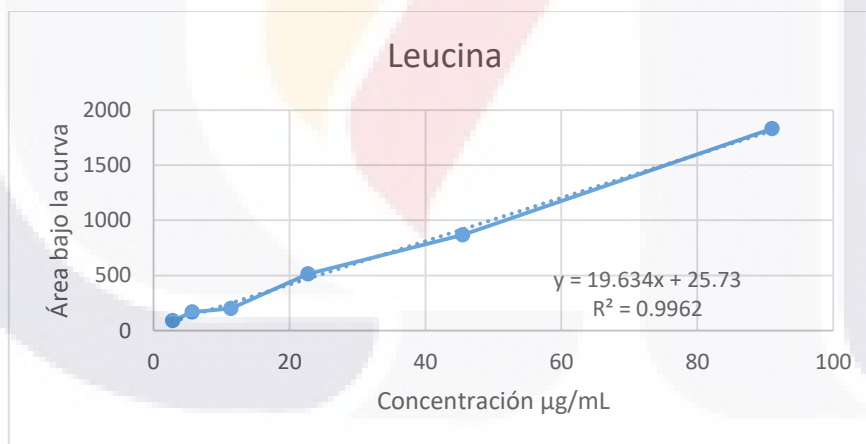


Figura 17. Curva de calibración para el derivado de tercbutildimetilsilil del aminoácido Leucina.

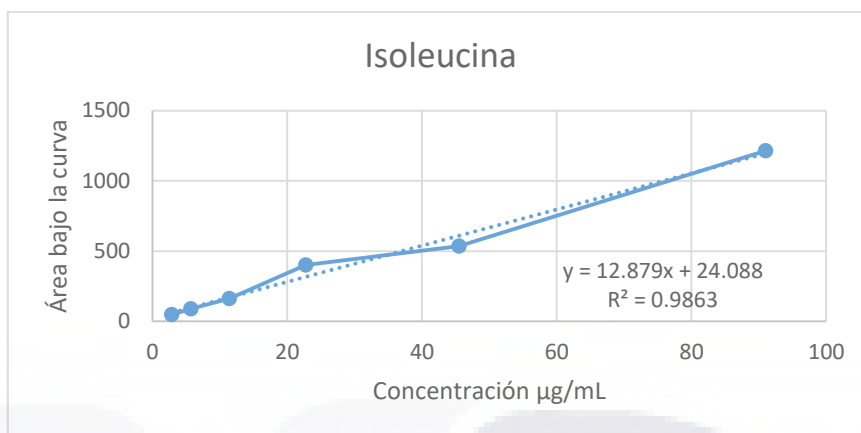


Figura 18. Curva de calibracion para el derivado de tercbutildimetilsilil del aminoácido Isoleucina.

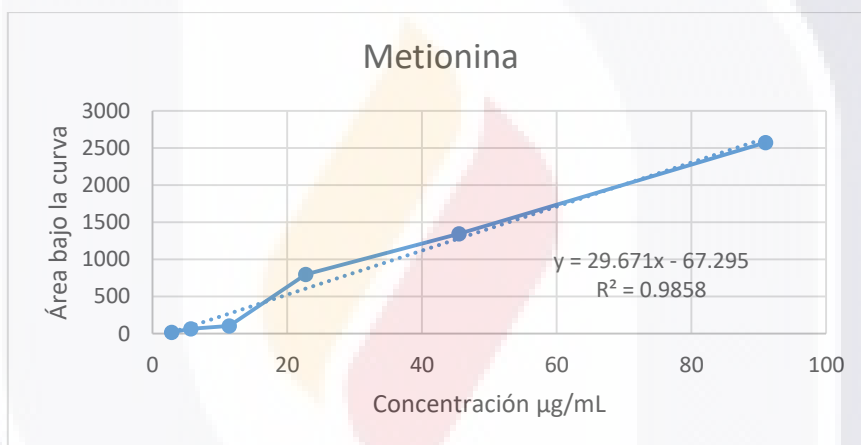


Figura 19. Curva de calibracion para el derivado de tercbutildimetilsilil del aminoácido Metionina.

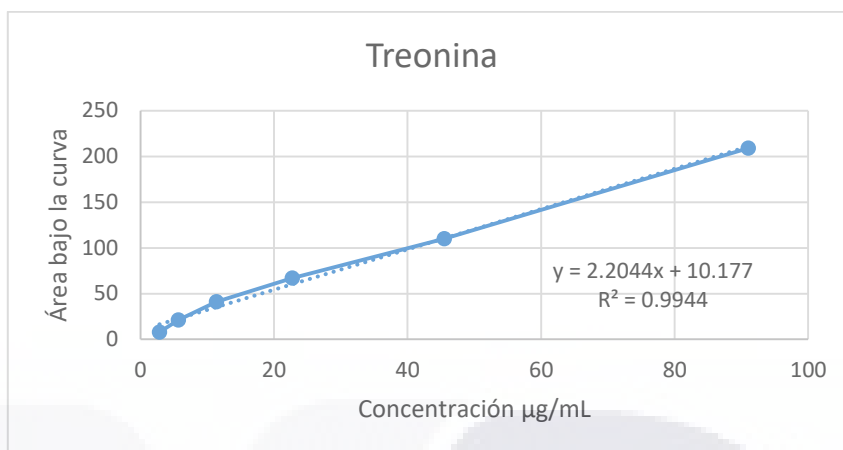


Figura 20. Curva de calibracion para el derivado de tercbutildimetilsilil del aminoácido Treonina.

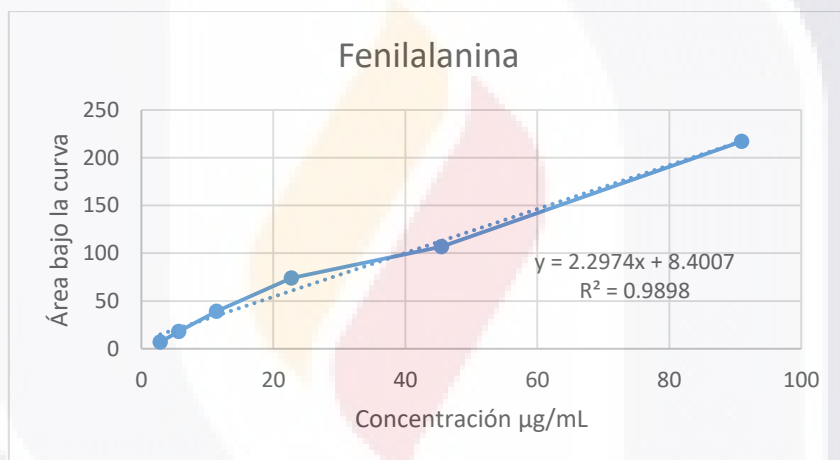


Figura 21. Curva de calibracion para el derivado de tercbutildimetilsilil del aminoácido Fenilalanina.

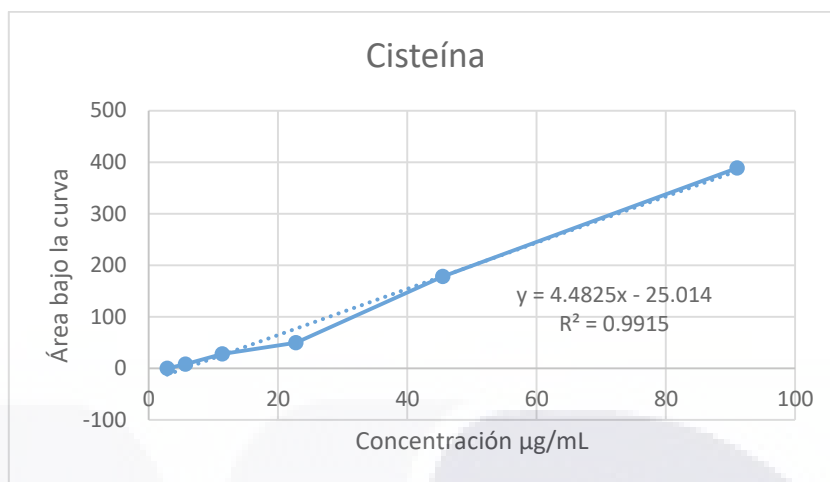


Figura 22. Curva de calibracion para el derivado de tercbutildimetilsilil del aminoácido Cisteína.

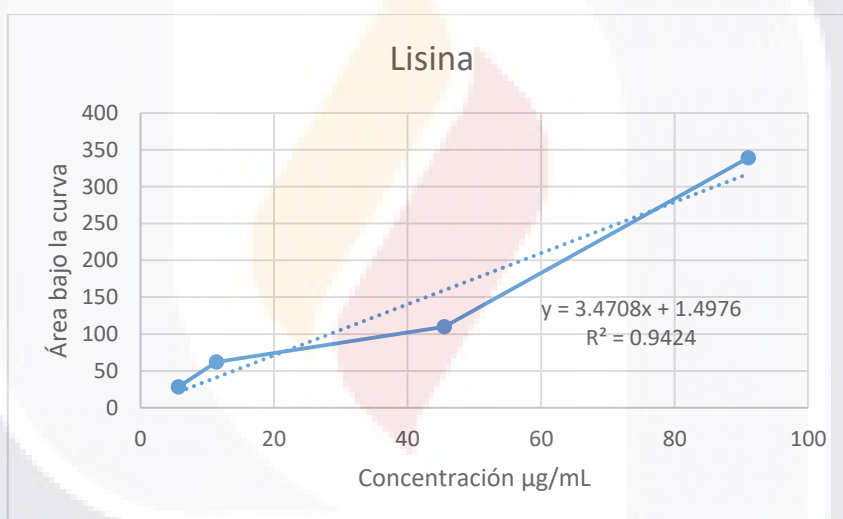


Figura 23. Curva de calibracion para el derivado de tercbutildimetilsilil del aminoácido Lisina.



Figura 24. Curva de calibracion para el derivado de tercbutildimetilsilil del aminoácido Histidina.

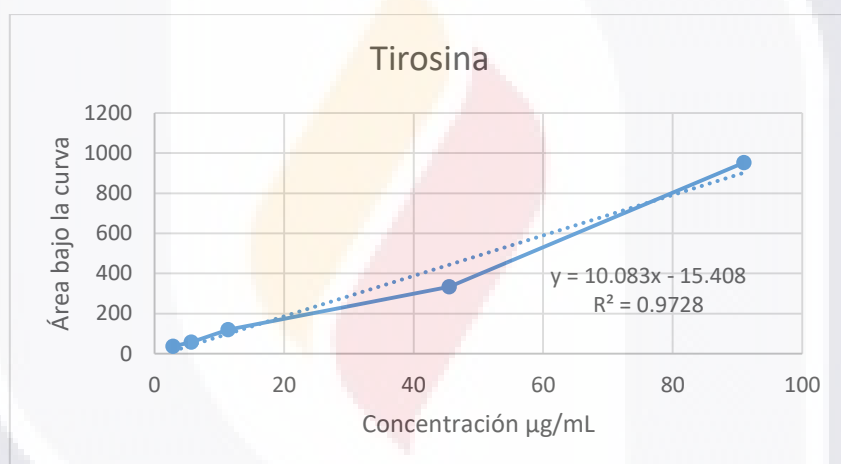


Figura 25. Curva de calibracion para el derivado de tercbutildimetilsilil del aminoácido Tirosina.

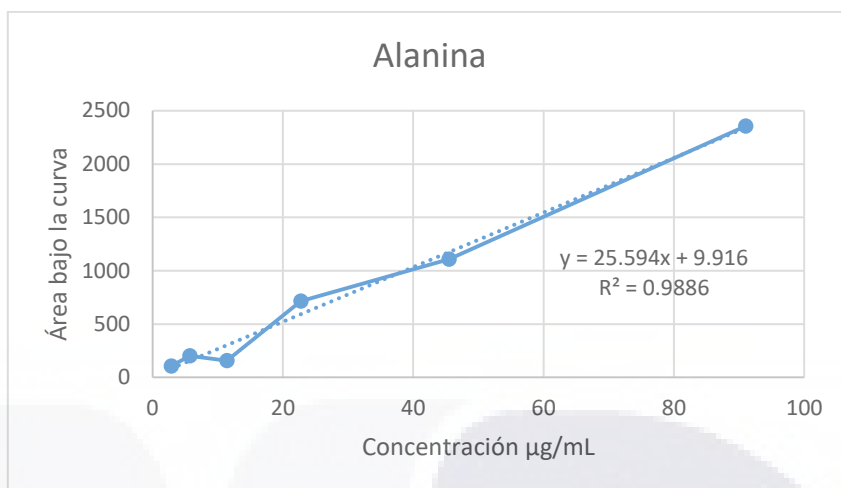


Figura 26. Curva de calibracion para el derivado de tercbutildimetilsilil del aminoácido Alanina.

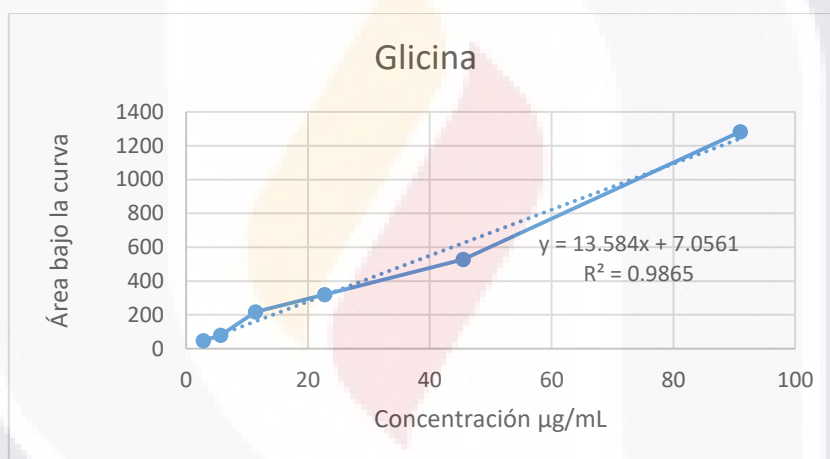


Figura 27. Curva de calibracion para el derivado de tercbutildimetilsilil del aminoácido Glicina.

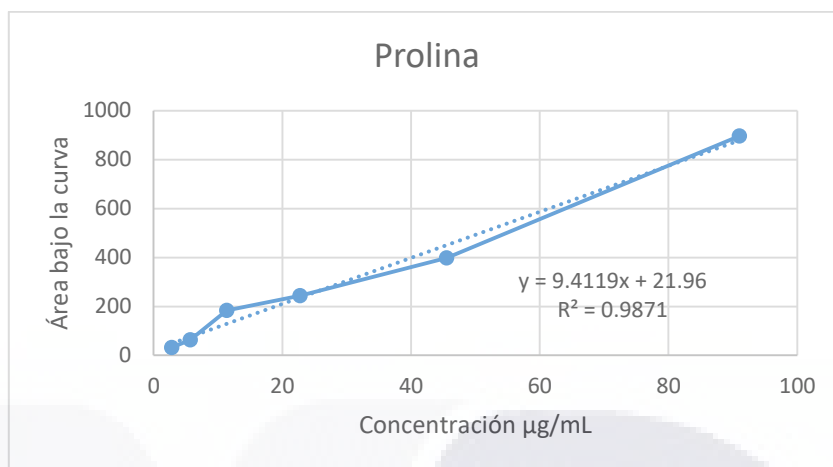


Figura 28. Curva de calibracion para el derivado de tercbutildimetilsilil del aminoácido Prolina.

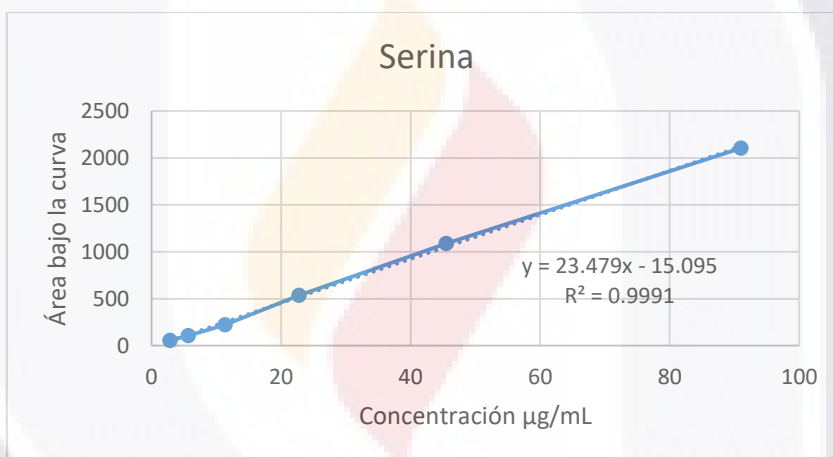


Figura 29. Curva de calibracion para el derivado de tercbutildimetilsilil del aminoácido Serina.

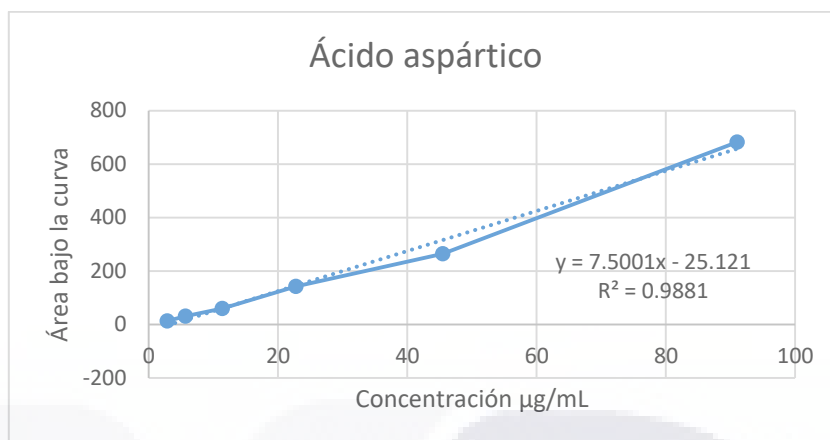


Figura 30. Curva de calibracion para el derivado de tercbutildimetilsilil del aminoácido ácido Aspártico.

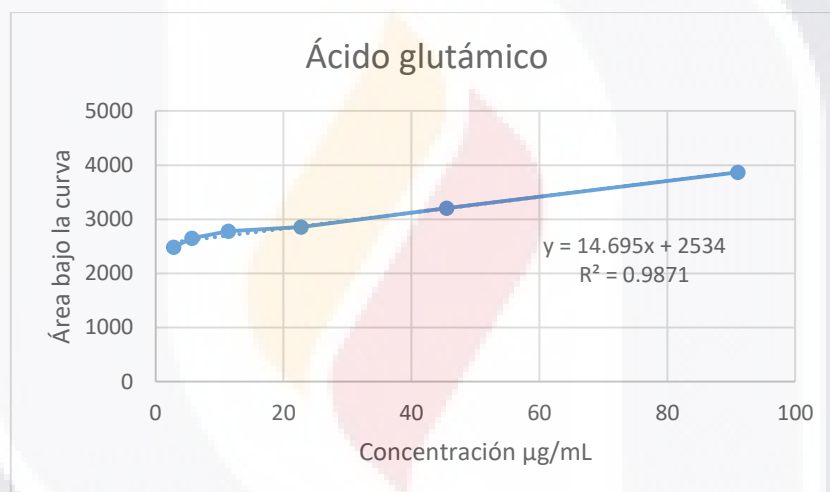


Figura 31. Curva de calibracion para el derivado de tercbutildimetilsilil del aminoácido ácido Glutámico

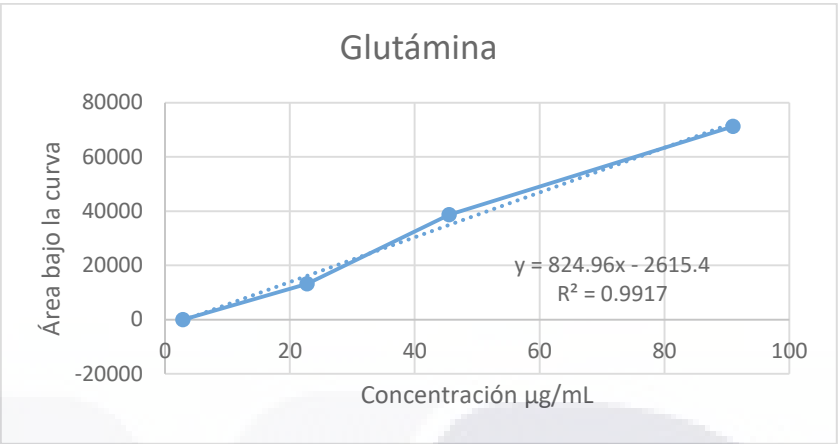


Figura 32. Curva de calibracion para el derivado de tercbutildimetilsilil del aminoácido Glutamina.