

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE OCCIDENTE

Departamento de Procesos Tecnológico e Industriales

Sustentabilidad y tecnología

PROYECTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL (PAP)

Programa de Desarrollo Tecnológico para la Sustentabilidad Ambiental

Energética y Alimentaria I



**ITESO, Universidad
Jesuita de Guadalajara**

4D09 Programa de Desarrollo Tecnológicos para la Sustentabilidad

Ambiental Energética y Alimentaria I

Diseño de proceso de producción industrial de larva de mosca soldado negro (BSFL) destinada a engorde de ganado a partir de desechos agropecuarios

PRESENTAN

Programas educativos y Estudiantes

Ing. en Biotecnología. Ángel Sebastián Vargas López

Ing. en Biotecnología. Luis Alberto Sepúlveda Galindo

Profesor PAP: Dr. Luis Edmundo Garrido Sánchez

Dr. Alejandro Arana

Tlaquepaque, Jalisco, mayo de 2024

ÍNDICE

Contenido

REPORTE PAP	3
Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional	3
Resumen	0
1. Ciclo participativo del Proyecto de Aplicación Profesional.....	0
1.1 Entendimiento del ámbito y del contexto	0
1.2 Caracterización de la organización o comunidad	4
1.3 Identificación de la(s) problemática(s)	5
1.4. Planeación de alternativa(s).....	7
1.5. Desarrollo de la propuesta de mejora	12
Pelletizado	13
Verificación en laboratorio	18
Validación in vivo	28
Alimentación	29
Pesaje	30
Simulación del proceso a escala industrial	32
Downstream.....	34
1.6. Valoración de productos, resultados e impactos	35
1.7. Bibliografía y otros recursos	38
2. Productos	41
3. Reflexión crítica y ética de la experiencia.....	43
3.1 Sensibilización ante las realidades	43
3.2 Aprendizajes logrados	44

REPORTE PAP

Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional

Los Proyectos de Aplicación Profesional (PAP) son experiencias socio-profesionales de los alumnos que desde el currículo de su formación universitaria- enfrentan retos, resuelven problemas o innovan una necesidad sociotécnica del entorno, en vinculación (colaboración) (co-participación) con grupos, instituciones, organizaciones o comunidades, en escenarios reales donde comparten saberes.

El PAP, como espacio curricular de formación vinculada, ha logrado integrar el Servicio Social (acorde con las Orientaciones Fundamentales del ITESO), los requisitos de dar cuenta de los saberes y del saber aplicar los mismos al culminar la formación profesional (Opción Terminal), mediante la realización de proyectos profesionales de cara a las necesidades y retos del entorno (Aplicación Profesional).

El PAP es un proceso acotado en el tiempo en que los estudiantes, los beneficiarios externos y los profesores se asocian colaborativamente y en red, en un proyecto, e incursionan en un mundo social, como actores que enfrentan verdaderos problemas y desafíos traducibles en demandas pertinentes y socialmente relevantes. Frente a éstas transfieren experiencia de sus saberes profesionales y demuestran que saben hacer, innovar, co-crear o transformar en distintos campos sociales.

El PAP trata de sembrar en los estudiantes una disposición permanente de encargarse de la realidad con una actitud comprometida y ética frente a las disimetrías sociales. En otras palabras, se trata del reto de “saber y aprender a transformar”.

El Reporte PAP consta de tres componentes:

El primer componente refiere al ciclo participativo del PAP, en donde se documentan las diferentes fases del proyecto y las actividades que tuvieron lugar durante el desarrollo de este y la valoración de las incidencias en el entorno.

En caso de requerirse alguna adecuación al nombre de las fases propuestas para este componente, se puede realizar siempre y cuando sea complementario a lo ya establecido.

El segundo componente presenta los productos elaborados de acuerdo con su tipología.

El tercer componente es la reflexión crítica y ética de la experiencia, el reconocimiento de las competencias y los aprendizajes profesionales que el estudiante desarrolló en el transcurso de su labor.

Resumen

En la última década la explotación de los recursos hídricos para suplir la demanda de agua en las actividades agrarias a reflejado, en la economía local, un aumento desenfrenado del costo general de los granos en una media de hasta 7% anual para la soja (grano importante ya que aporta proteína en las formulaciones alimenticias). El sustituir la soja por ingredientes que tengan más énfasis en la sustentabilidad provocara que los precios se reduzcan significativamente ayudando a los consumidores finales que tengan un producto económicamente accesible. Se formuló y comparó un alimento a base de maíz, sorgo, larva, sales minerales y melazas contra un alimento comercial general (conejina), respetando los porcentajes mínimos investigados de diversas formulaciones en cuanto a proteína, fibra, grasas y carbohidratos. La experimentación para la comparación constó en alimentar ratones hembra de laboratorio donde se agruparon en dos grupos de tres individuos y a un grupo se le suministro la formulación diseñada y a otro la conejina. Posteriormente se pesaron los individuos de prueba cada dos días por un periodo de 35 días, los resultados obtenidos se sometieron a una prueba t de Student y se obtuvo un valor para t de 2.77 contra una t critica de 2.144 y corroboro con un alfa elegido del 0.05 contra P value de 0.01 siendo significativamente diferente en la ganancia de peso resultando positivo para la formulación.

1. Ciclo participativo del Proyecto de Aplicación Profesional

El PAP es una experiencia de aprendizaje y de contribución social integrada por estudiantes, profesores, actores sociales y responsables de las organizaciones, que de manera colaborativa construir sus conocimientos para dar respuestas a problemáticas de un contexto específico y en un tiempo delimitado. Por tanto, la experiencia PAP supone un proceso en lógica de proyecto, así como de un estilo de trabajo participativo y recíproco entre los involucrados.

1.1 Entendimiento del ámbito y del contexto

Contexto de la problemática

El crecimiento exponencial de la población humana aumentó más de tres veces de 1950 al 2022, pasando de 2500 millones de personas a 8000 millones de personas, trayendo como consecuencia una productividad elevada de las actividades agropecuarias para sustentar el consumo de alimentos enfocados al ser humano (PROGRESAN-SICA, 2023). Se estima que para el año 2050 la población mundial alcance un pico de 10,400 millones de personas por lo que se tendrá que aumentar la productividad de alimentos para sostener este número de habitantes o buscar alternativas de alta productividad y que sean viables (Naciones Unidas, 2022).

Aunado a esto, el estrés hídrico generado por las actividades agroindustriales consume alrededor del 68% – 70% del agua dulce disponible para que solo el 66% de lo producido en los campos llegue realmente al consumo humano. En México se cuenta con un aproximado de 0.1% del total de agua dulce del planeta para sustentar 6.3 millones de hectáreas activas en cultivos catalogándolo como un país de clima dominante semidesértico. También se puede observar que, de este consumo estimado, se desperdicia el 57% del total utilizado debido a infraestructura de riego ineficiente, que es obsoleta y que está en mal estado (Maguey, 2019). Otra de las problemáticas que podemos puntualizar es la inflación de los precios de los alimentos que aumenta año con año en todo el mundo. En 2023, los índices de los precios agrícolas de los cereales aumentaron en un 6%, 4% y 10% en los países de ingresos bajos, medianos bajos y medianos altos respectivamente. Para antes de la primera mitad del año 2023, el índice del cambio para el trigo fue de 11%, para el maíz fue de 8% y la soja -7% comparados con el mismo periodo del 2021 (Banco Mundial, 2023). Los precios generales en moneda nacional por kilogramo de cada grano son; maíz \$4.60 pesos, trigo \$5.96 pesos y soja \$10.2 pesos, pese a que el índice del maíz fue más elevado respecto al año 2021, si lo comparamos con el precio de mercado de la soja este tendría una diferencia de precio del 54.9%.

Las dietas básicas para engordar animales intensivamente constan de 6 granos esenciales conformadas por; maíz, avena, trigo, cebada, sorgo y soja, de los cuales 5 de ellos son destinados a efectos energéticos (ricos en carbohidratos) y la soja está destinada a cumplir la demanda proteica necesaria para el crecimiento del animal, además de una fuente de fibra

adecuada con el objetivo de generar una dieta balanceada. Por cada 100 gramos de alimento preparado con estos granos, se recomienda que el 30% del peso total sea de soja, representando así un 40% del costo total por insumos de alimentos secos (Fanatico, 2013). Todo esto ocasiona que, a los micro, pequeños y medianos productores se les aumente el precio de los insumos básicos para sustentar sus actividades de engorda, representando el 71% de los gastos generales, provocando que sean cada vez menos competentes en el mercado (Rafael Orozco Campo, 2004). Por esto mismo es necesario proponer fuentes diversas de alimentos ricos en proteínas y ácidos grasos procedentes de actividades ecológicamente sustentables con el fin de reducir los costos del consumidor para engordar a los animales, aprovechar los alimentos que se descartan por no pasar las pruebas de calidad de las grandes industrias y reducir el estrés hídrico generado por el sector agropecuario.

Residuos urbanos sólidos

En la república mexicana se produjeron aproximadamente 44.6 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos (RSU), de los cuales 51.6% son residuos orgánicos. Entre los componentes importantes de los residuos se encuentran derivados del papel en un 14.2% y plásticos en un 11% (SEMARNAT, 2018). Los residuos orgánicos son de alto interés biotecnológico al tratarse de fuentes de carbono y nitrógeno de bajo costo para procesos industriales, enfocándose mayormente en la producción de fertilizantes orgánicos para usar como complemento en los campos agrícolas de la región donde estos se produzcan (Andrea de Anda, 2021).

Zona Metropolitana de Guadalajara

En la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) es la segunda área metropolitana más poblada de México, con 5,179,874 habitantes (INEGI, 2020). Esta se compone por 6 municipios; Guadalajara, Zapopan, San Pedro Tlaquepaque, Tonalá, Tlajomulco de Zúñiga y El Salto (Gobierno del Estado de Jalisco, 2020). Diariamente se producen 5.194 toneladas de RSU en la ZMG, siendo Guadalajara y Zapopan los mayores contribuyentes con 1,661 y 1488 toneladas respectivamente (Aristóteles, Ruiz, Parra, & Cortinas, 2017), de los cuales

47.6% son desechos orgánicos (Gobierno del Estado de Jalisco, 2019). Actualmente se disponen de 3 vertederos en operación, 2 en Tlaquepaque y 1 en Tonalá (Ayuntamiento de Guadalajara: Medio Ambiente, 2018). Se propuso un cuarto vertedero en Tala, para disponer del exceso de residuos acumulados, sin embargo, eso únicamente resolvería el problema de forma momentánea.

Economía circular

Una apuesta a corto plazo como la creación de más vertederos presenta una serie de efectos perjudiciales que difícilmente se pueden ignorar, por lo tanto, se presenta una apuesta sustentable a través de la fomentación de una economía circular. Esta consiste en el aprovechamiento de residuos orgánicos para la transformación de estos en diversos productos; Frass (composta sólida), lixiviados de alto valor agrícola y biomasa de insectos para consumo animal y/o humano, así apoyando la economía local reduciendo los costos de los formulados para los animales o el uso de los granos producidos por los mismos agricultores para uso pecuario (Vargas-Hernández, 2019).

Fundamento teórico de la propuesta

La propuesta consta del uso de la larva de mosca soldado negro con un propósito dual: proveer una fuente de proteína de bajo costo y disponer de los residuos orgánicos de la industria alimenticia. Este insecto posee una gran ventaja, su capacidad de usar una gran variedad de residuos orgánicos sólidos como sustrato para su alimentación, por esto mismo es que la producción de este insecto es altamente viable a nivel económico. Sin embargo, la composición que tenga el alimento afecta directamente las propiedades nutrimentales de la larva en la generación de proteína donde si la dieta destinada es netamente vegetal, la larva produce un máximo de 30% de proteína mientras que, si se suplementa con desechos proteicos como restos de animales, su índice incrementa considerablemente hasta llegar a un 50% de proteína producida.

Actualmente existen otras alternativas en cuanto a las harinas de insectos refiere, siendo las harinas de tenebrios y de saltamontes las más populares en el mercado. La harina de tenebrio cuenta con un altísimo porcentaje de proteína (40% - 65%), la desventaja que esta tiene es que su alimentación es casi que exclusiva de cereales y granos haciéndolo costoso para producir. Otra de las desventajas que tiene esta especie es su etapa de engorda, siendo que desde la colecta del huevo hasta su máxima talla pueden llegar a pasar un mínimo de 3 meses, por lo que para ser competitivo se requeriría tener producciones muy grandes en diferentes etapas para suministrar la demanda de este alimento (Linggawatsu Syahrulawal, 2023).

En contraparte, el saltamontes es otra de las opciones viables del mercado productor de insectos, la tasa proteica de cualquier especie de saltamontes ronda el 40% y teniendo los cuidados adecuados el incremento llegaría a un máximo de 50% de proteína. A su vez, las grasas insaturadas, que van desde 40% - 45%, lo hacen una fuente muy saludable de lípidos para el consumo de animales y humanos (Geoffrey Ssepuyya, 2016). Sin embargo, el hecho que solo se alimenten de hojas, flores, ramas, pasto y rara vez semillas, limita a que se utilicen solo este tipo de insumos que además tienen que estar frescos y con un índice de humedad elevado.

Hablando ahora del mercado existente sobre la mosca soldado negro, existen tres empresas conocidas que producen esta larva a nivel masivo, Illucens México, Agronutris en Francia y Arizona worm farm en USA. Pese a que la alimentación de esta especie es en su totalidad a base de desechos orgánicos, y por ende gratuitos o de bajo costo, los precios de mercado de estos tres productores rondan en una mínima de \$400 pesos el kilogramo y no están enfocados directamente en sustituir algún producto de la alimentación en la engorda de animales.

1.2 Caracterización de la organización o comunidad

El Instituto Tecnológico de Estudios Superiores del Occidente (ITESO) es una institución académica de índole jesuita que por medio de 3 apartados: 1, la formación de profesionistas competentes, libres y comprometidos dispuestos a dar de su ser para cumplir su servicio a la sociedad. 2, ampliar fronteras del conocimiento y cultura en búsqueda de la verdad. 3,

proponer y desarrollar soluciones viables y pertinentes en la transformación de los sistemas e instituciones por medio del diálogo. Esto con la finalidad de la construcción de una sociedad más justa y humana (ITESO, 2016).

La institución dispone de un total de 12 Departamentos académicos:

El departamento responsable de este trabajo es el Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales (DPTI), el cual está enfocado a la investigación y desarrollo de procesos químicos, alimentarios y biotecnológicos dentro de la industria.

(ITESO, 2016).

Dentro de la institución se realizan labores educativas y servicio a la comunidad con impacto social, cultural y ambiental generando capital humano de alta calidad que propongan soluciones innovadoras a los problemas presentes y futuros implementando los conocimientos adquiridos.

Los responsables de supervisar el desarrollo de este proyecto son los profesores Luis Edmundo Garrido Sánchez- Profesor DPTI, apoyando en la parte conceptual del proyecto, Alejandro Arana Sánchez- jefe de laboratorios y talleres del DPTI, apoyando en la parte experimental, y Alejandro Torres Haro -investigador en CIATEJ en el departamento de biotecnología industrial, apoyando en la simulación.

1.3 Identificación de la(s) problemática(s)

La primera problemática que se identificó es la falta o poca investigación formal que se tiene respecto al insecto *Hermetia illucens*. En el sitio Web of Science, en el 2009 se tuvieron 0 publicaciones acerca de este insecto, incrementando poco a poco hasta el 2016 año en el cual se tuvo un auge en la investigación de este insecto, en los siguientes 5 años se tuvo un incremento significativo llegando en 2021 a 360 publicaciones formales sobre mosca soldado-negra (Spykman, y otros, 2021).

Aunque se tiene un incremento en el interés mundial respecto a este insecto, es notable mencionar que no se tiene una gran cantidad de artículos explicando la aplicación en agricultura e industria y más importante análisis de procesos, económicos y simulaciones que puedan ayudar a su escalamiento. La principal problemática que se quiere solucionar es el desplazamiento de ingredientes que van encareciendo año con año y que tiene como consecuencia la disminución de los productores locales en cuanto a engorda de animales refiere, esto porque sus formulaciones cada vez son más caras y por ende se tiene menos volumen de alimento, afectando a la cantidad de animales que producen y percibiendo menos ingresos. El segundo impacto positivo del proyecto es el manejo adecuado de los residuos orgánicos generados por las comunidades y los municipios, aquí se aprovecharán de forma activa en lugar de juntarlos con otros residuos evitando lixiviados que dañen el subsuelo y los mantos acuíferos de las regiones.

El proceso de la crianza de larva se ve afectada directamente por parámetros medioambientales; humedad, temperatura, luminosidad y por parámetros que se pueden controlar como la dieta; proporción de carbono : nitrógeno. Específicamente se encontró que la larva requiere una alta temperatura en el sustrato, la cual se ha visto incrementada debido al movimiento natural de la larva, el cual lo hace como un comportamiento normal para movilizar la materia orgánica y desplazar los desechos, debido a que esto lo hacen todas las larvas contenidas, se incrementa la temperatura del sistema. El problema de logística y de alianzas estratégicas que nos proporcionen la materia prima (desechos orgánicos) para la alimentación de la larva, aún sigue siendo un reto, esto ya que quienes producen masivamente desechos vegetales (abasteros) tienen poco o nulo interés en la implementación de separación de sus residuos, debido a que no tienen una remuneración económica como tal y además que se requeriría ir todos los días por los desechos para mantener un correcto seguimiento y comunicación con los mismos.

Se trabajaron estas problemáticas en el crecimiento larvario, se logró obtener mosca soldado-negra madura, de mayor tamaño y en menor tiempo, está en teoría es viable para ovoposición, es decir reproducirse y colocar huevecillos para obtener la siguiente generación. Se trabajaron con papaya, manzana, levaduras y plátano como atrayentes para estimular olfativamente a la

mosca, pero estos no fueron exitosos, se utilizaron luces de diferente longitud de onda para realizar una estimulación controlada de la luz solar, pero estos no fueron exitosos. Se llegó a la conclusión que la densidad poblacional de la mosca no es la suficiente debido a la baja o nula ovoposición obtenida (Heussler, y otros, 2018).

Debido a estas problemáticas se ha optado por caracterizar a fondo el proceso artesanal de la producción de larva de mosca soldado-negra antes de usar o realizar un proceso industrial escalado, actualmente se está trabajando con una población de 2000-2500 larvas esperando que eclosionen simultáneamente para aumentar la densidad poblacional, un atrayente de levadura y plátano, plantas que aumentarán el área de reposo necesaria y luz natural debido a que la temperatura actual es la óptima de 30 grados.

1.4. Planeación de alternativa(s)

Para este proyecto se propuso una alternativa a los procesos tradicionales reportados en el programa especial derivado del plan nacional de desarrollo de 2019-2024 del gobierno de México (SEMARNAT, 2022). Optando por el uso de la larva de mosca soldado negro (BSFL) (*Hermetia illucens*) para cumplir un propósito dual: disponer de los residuos metropolitanos de manera sustentable y fungir como fuente alimento de alta calidad para ganado.

Para el periodo de tiempo que se realizó esta investigación y recopilando datos obtenidos de investigaciones pasadas, las dos principales alternativas son; diseñar metodologías en las diferentes áreas de crianza de la larva para estandarizar una producción a lo largo de todo el año, obteniendo así la materia prima necesaria para suplir la demanda de la segunda alternativa. La segunda alternativa engloba la formulación de un alimento integral que supla la demanda dietética de los animales de engorda y/o mascotas (con ciertas excepciones de animales) ayudando a minimizar precios del mercado ofreciendo la misma calidad de alimento.

Tabla 1. Cronograma de actividades

Número	Tarea	Inicio	Finalización	Duración estimada
0	Formulación a base de Mosca Soldado	lun 15/01/24	lun 13/05/24	86 días
1	Revisión bibliográfica	lun 15/01/24	lun 13/05/24	86 días
2	Protocolo	lun 29/01/24	jue 29/02/24	24 días?
2.1	Redacción Protocolo	lun 29/01/24	lun 19/02/24	16 días?
2.2	Envío de protocolo	lun 12/02/24	lun 19/02/24	6 días
2.3	Corrección de protocolo	mar 20/02/24	lun 26/02/24	5 días
2.4	Aceptación de protocolo	mar 27/02/24	jue 29/02/24	3 días
2.5	Procuración de materiales	mié 28/02/24	jue 29/02/24	2 días
3	Formato de ingreso	jue 29/02/24	mar 05/03/24	4 días
3.1	Entregar formatos	jue 29/02/24	mar 05/03/24	4 días
4	Experimentación	lun 05/02/24	jue 09/05/24	69 días
4.1	Larva	lun 05/02/24	mié 28/02/24	18 días
4.2	Pelletizado	jue 08/02/24	jue 11/04/24	46 días
4.2.1	Formulación	jue 08/02/24	jue 22/02/24	11 días
4.2.1.1	Cálculos de masa por ingrediente	lun 12/02/24	mié 14/02/24	3 días
4.2.1.2	Procuración de ingredientes	jue 15/02/24	jue 22/02/24	6 días
4.2.2	Peletizadora	lun 05/02/24	mar 05/03/24	22 días
4.2.2.1	Adquirir peletizadora	lun 05/02/24	mié 28/02/24	18 días

4.2.2.2	Peletizar	jue 29/02/24	vie 01/03/24	2 días
4.2.2.3	Recuperar pellet	lun 04/03/24	mar 05/03/24	2 días
4.2.3	Análisis pelletizado	mié 06/03/24	mié 10/04/24	26 días
4.2.3.1	Kjeldahl	mié 06/03/24	vie 08/03/24	3 días
4.2.3.2	Fehling	vie 08/03/24	mar 12/03/24	3 días
4.2.3.3	Fibra	mar 12/03/24	vie 15/03/24	4 días
4.2.3.4	Soxhlet	mié 06/03/24	vie 08/03/24	3 días
4.2.3.5	Humedad	mar 12/03/24	vie 15/03/24	4 días
4.2.3.6	Ceniza	mar 12/03/24	vie 15/03/24	4 días
4.2.3.7	XPS	lun 01/04/24	mié 10/04/24	8 días
4.2.4	Resultados Pelletizado	jue 11/04/24	jue 11/04/24	1 día
4.3	Ratones	jue 22/02/24	mar 07/05/24	54 días
4.3.1	Alojamiento ratones	jue 22/02/24	mar 27/02/24	4 días
4.3.2	Adquisición ratones	mar 27/02/24	vie 01/03/24	4 días
4.3.3	Alimentación, pesaje y medición de ratones	mié 06/03/24	mar 07/05/24	45 días
4.4	Análisis de resultados	mié 08/05/24	jue 09/05/24	2 días
5	Empaquetado	jue 28/03/24	vie 03/05/24	27 días
6	Presentaciones	mar 13/02/24	lun 06/05/24	60 días
6.1	Presentación Avances 1	mar 13/02/24	mar 13/02/24	1 día
6.2	Presentación Avances 2	mié 14/02/24	mié 14/02/24	1 día
6.3	Presentación Avances 3	jue 14/03/24	jue 14/03/24	1 día

Profundizando en la primera alternativa, el diseño de la planta de crianza cuenta con un área de compostaje, un área de eclosión de huevos, un área de engorda/crecimiento larvario y recolecta de especímenes terminados, un área de sacrificio, un área de pupación y reproducción (aquí se separarán las larvas específicamente criadas para reproducción con el fin de continuar con el ciclo metamórfico y llevarlas a moscas adultas para obtener y recolectar huevos). Con eso se terminaría el diseño de la planta para exclusivamente la crianza larvaria, posteriormente a esto el secado y la transformación de la materia prima inicial corresponde a la segunda alternativa.

Basándonos directamente en investigación y por mérito del equipo, el área de compostaje es una parte sumamente primordial para la planta, aquí se llevará a cabo la formulación de la dieta de la larva con desechos orgánicos recolectados en puntos de generación masiva de desechos en la ciudad, abaratando enormemente los costos de materia prima, con el objetivo principal de llevar esta mezcla a un proceso de compostaje en caliente beneficiando a la pasteurización de patógenos que se pudieran encontrar en los desechos, cargando el alimento con microorganismos benéficos que hacen perfecta sinergia con el ambiente de la larva y degradando parcialmente moléculas para un mejor aprovechamiento dietético para la larva. Según la bibliografía consultada y la experiencia aprendida en experimentaciones previas, una dieta adecuada para la larva se conforma de 25% - 30% de desechos animales (menudencias, neonatos, residuos cárnicos, etc...) y 70% - 75% residuos vegetales “verdes” (la palabra “verdes” se refiere a desechos vegetales con grados de humedad elevados) ayudando a maximizar la engorda teniendo como resultado final larvas de tamaños promedios a los 2 cm y con pesos por individuo de 0.3 gramos.

Cabe mencionar que no todas las larvas tendrán la misma dieta, entre el 10% al 20% de la población de larva que haya eclosionado se separara a los 5 días de la eclosión y suministrara una dieta específica para sustentar el crecimiento del ciclo total de la larva (Huevo – Larva – Mosca – Reproducción) ya que la mosca depende totalmente de la acumulación de ácidos grasos que haya ingerido cuando fue larva. Una dieta rica en proteína y ácidos grasos nos

garantizaría un mejor almacenamiento energético para que la mosca tenga mucho mejor calidad de puesta de huevos, así como en la cantidad.

El desecho generado por la larva (Frass) tiene un alto valor de mercado en el área de agricultura orgánica, la composición de este, según un artículo publicado por Gärttling y Schultz en 2021, tiene una media de $N = 3.39\% \pm 0.24$, $P_2O_5 = 2.85\% \pm 0.36$ y $K_2O 3.47\% \pm 0.34$, esto en kilogramo de materia seca (Schulz, 2021). Además de esto, la alta concentración de materia orgánica ayuda a proporcionar mejor estructura de los suelos haciendo que tenga una mayor capacidad de retención de agua, la carga microbiana presente también es un beneficio gigantesco, estos últimos previenen enfermedades provenientes de otros microorganismos por una actividad simbiótica con la rizosfera de las plantas presentes al intercambiar nutrientes en suelo (solubilizándolos y generando una alta capacidad de intercambio iónico) por azúcares simples que la planta suministra (Vries, 2020).

Por esto mismo la crianza de larvas por si sola es una alternativa altamente sustentable y que tiene un potencial de impacto amplio en las actividades primarias del ser humano, agricultura y pecuaria. Sumando a la complejidad del proyecto, el diseño de formulaciones que cumplan los estándares nutritivos generales de cada especie animal sin enfatizar a los mínimos requeridos por etapa de crecimiento (crecimiento – engorda – mantenimiento – finalizado), es el propósito general de esta investigación/propuesta. Esto se efectuará como se mencionó previamente, llevando a cabo el crecimiento selectivo de larvas con dietas pertinentes para maximizar la producción tanto de proteína como de ácidos grasos, posteriormente se efectuara un lavado para retirar impurezas pertenecientes al sustrato de engorda y se sacrificaran por congelamiento a $-20^{\circ}C$ por un periodo de 4 horas, este sacrificio se basa en la pausa metabólica de los insectos en general ya que son susceptibles a temperaturas bajo $0^{\circ}C$ y la cristalización de los líquidos permitirá una muerte sin sufrimiento para el animal. Posteriormente al sacrificio se descongelarán y al alcanzar una temperatura ambiente estas entrarán en agua hirviendo por lapsos cortos de tiempo, ocasionando un lavado en la cutícula, permitiendo de esta manera minimizar el proceso de deshidratación hasta en un 50% del tiempo previsto.

Este proceso se realizará por separado de las formulaciones por la posibilidad de comercializar la larva seca a un mayor costo que el formulado, pero garantizando la calidad del producto y la biodigestibilidad hacia los animales quienes lo consuman. Por último, se seleccionarán los granos de temporada que estén más baratos exclusivamente para suplir la demanda calórica pertinente, los carbohidratos, con esto se pretende buscar a los agricultores de la zona y ofrecerles el fertilizante orgánico, así como pagar un precio que se ajuste a las necesidades de los costos y remuneración estimada. Cerrando con la comercialización de un producto social-ecológicamente responsable que integra a los individuos involucrados en la calidad y empatía de generar una economía para todos.

1.5. Desarrollo de la propuesta de mejora

Hermetia Illucens

En el desarrollo de esta propuesta fue pertinente una investigación a profundidad sobre el ciclo de vida de *H. Illucens*, sus parámetros ideales de desarrollo y crecimiento reportados en la literatura, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros óptimos para el crecimiento de *Hermetia illucens*

Parámetro	Valor
Temperatura	27°C – 32°C
Humedad	30%-70%
Densidad poblacional larval	5 larvas por cm ²
Tasa de alimentación larval	200 mg / larva*día
Densidad poblacional adulto	300-2000 moscas por m ²

Fotoperiodo Adulto	12/12
Competencia sexual (Leecking)	50% hembras y 50% machos

Pelletizado

Formulación de pelletizado

Se realizó una formulación preliminar para cumplir los requerimientos alimenticios de los ratones, produciendo un total de 3 kg para la duración del proyecto (Tabla 3).

Tabla 3. Concentración de los ingredientes previo a la formación de la pasta

Material	Porcentaje	Descripción
Maíz Amarillo	32%	En grano entero, previamente remojado durante 60 horas
Maíz milo (Sorgo)	32 %	En grano entero, previamente remojado durante 60 horas
Harina de larva	32%	Previamente deshidratada
Solución de sales	4%	Totalmente seca

Sin embargo, para la formación del pelletizado fue necesario la adición de 2 Litros de agua por cada 3 kg de formulación dada la necesidad de la formación de una pasta que será cortada en el pellet, facilitando su maleabilidad para reducir costos energéticos (Tabla 3).

Tabla 4. Concentración de los ingredientes en la pasta a Peletizar

Material	Porcentaje
Maíz Amarillo	20%

Maíz milo (Sorgo)	20%
Harina de larva	20%
Agua	36%
Solución de sales	4%

Preparación pelletizado

Se procuraron los granos del pelletizado (Figura 1) en el mercado de abastos, estos se lavaron hasta que el agua saliente de estos adquiriera una tonalidad clara y se eliminaron las impurezas por medio un colador para remojarse en agua durante 60 horas.



Figura 1. Ingredientes para la preparación del pellet (maíz y sorgo, abajo) y el contratipo (conejina, arriba)

Posteriormente se secaron con un pañuelo y se molieron hasta alcanzar un grano fino (Figura 2),



Figura 2. Granos de la formulación molidos hasta formarse una partícula fina

Después se agregó la larva a la mezcla (Figura 3) y se molió junto con la mezcla, esto con la finalidad de que los ácidos grasos liberados por la maceración fueran absorbidos por los granos.



Figura 3. Larvas de *Hermetia illucens* antes de macerar

Después de molerse juntos los materiales estos se mezclaron en un contenedor usando la proporción de agua indicada en la Tabla 4, haciendo uso de guantes de nitrilo para prevenir cualquier reacción alérgica, amasando con firmeza hasta lograr una mezcla homogénea y flexible la fue procesada en la peletizadora manual. Este fue esparcido sobre lona de vinilo para prevenir cualquier contaminación y adherencia del pellet a esta (Figura 4).



Figura 4. Pellet producido

Este pellet fue puesto al sol hasta secarse, con un monitoreo y patrullaje constante para evitar la presencia de animales que lo fueran a ingerir o insectos que ovipositaran en él. Este pellet fue colocado en bolsas de plástico cerradas para su almacenamiento (Figura 5).



Figura 5. Pellet embolsado para almacenarse

Posterior a esto parte del pellet dirigido a distribución y demostraciones de campo por parte de terceros fue sellado en una bolsa para mayor seguridad en el traslado



Figura 6. Pellet empaquetado para uso por parte de terceros

Este pellet fue otorgado al grupo de interés para continuación de pruebas de campo.

Verificación en laboratorio

El diseño del pellet se inició con una matriz en Excel para los porcentajes objetivo de humedad, proteína, fibra, cenizas, carbohidratos y grasas, esto mediante la investigación bibliográfica de los 5 granos más importantes para los piensos de los animales y con un producto garantizado en los parámetros nutrimentales de larva. Una vez que se obtuvieron las proporciones, se mezclaron los ingredientes correspondientes y se hizo la presentación en pellet, siendo esta presentación la más común entre los alimentos por su sencillas de producción. Por último, se separaron 100 g de muestra para el formulado y conejina y se trituraron hasta hacerlas polvo para comenzar los análisis bromatológicos correspondientes con el fin de comparar diferencias entre alimentos.

Humedad

Para evaluar la humedad se tomó como contenedores unas capsulas de porcelana y se trabajó desde todo un día anterior para llevar a peso contante con un margen de error ± 0.001 g. La metodología para este apartado es relativamente sencilla, se tuvo que prender un horno o estufa a una temperatura estable de $105\text{ }^{\circ}\text{C}$, se introdujeron las capsulas de porcelana previamente identificadas y se dejaron por lapsos de 30 min donde entre cada lapso se pesaban hasta tener la diferencia de peso previamente especificada.

Una vez que se llevaron los recipientes a pesos constantes, se pesaron 5 g de muestra con tres repeticiones por cada alimento y se llevaron al horno por 4 hr a $105\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pasando las 4 hr se pesaron los contenedores con las muestras y se anotó el peso final de cada repetición.

Ecuación 1. Determinación de humedad por el medio gravimétrico

$$\%humedad = \frac{(\text{Peso de la muestra} - \text{Peso de la muestra seca})}{\text{Peso de la muestra}} * 100$$

Una vez obtenido todos los datos se utilizó la Ecuación 1 para determinar humedad por la técnica de gravimetría. Sin embargo, también se determinó humedad por termobalanza (Figura 7), para esta metodología se tomaron 1 gramo de muestra y se calibro la termobalanza a las condiciones requeridas para medir la humedad (100°C). La termobalanza es un instrumento electrónico de laboratorio automatizado donde esta detiene el proceso de medición cuando se crea pertinente dándote un resultado muy fiable de la humedad en las muestras analizadas.



Figura 7. Termobalanza MB35 OHAUS.

Carbohidratos

En los análisis de carbohidratos se siguió la NMX-F-217-Determinación de dextrosa equivalente, para la preparación de los reactivos que se utilizarían en el laboratorio de alimentos. Estos reactivos están conformados por dos soluciones de Fehling “A” y “B”, una solución de glucosa o dextrosa al 0.5% una solución de azul de metileno al 0.2% y una solución de rojo de metilo al 0.2%

Para medir los azúcares directos se prepararon 5 g de muestra y se aforaron con 100 mL agua destilada, se dejó reposar por 15 min y se tomó una alícuota de 5 mL a un matraz Erlenmeyer de 250 mL añadiendo además 5 mL de Fehling “A”, 5 mL de Fehling “B”, 25 mL de agua

destilada y 1 mL de azul de metileno. Una vez se obtuvo la dilución de reactivos y muestra, se dispuso en una termoplaca para llevarla a ebullición y titular con una solución patrón de glucosa (Figura 8), cuando el matraz tornara a un rojo color ladrillo, se anotaba el gasto de la bureta y se terminaba la titulación. Para determinar los azúcares directos, se usó la ecuación 2 y se anotaron los resultados.



Figura 8. Matraz con solución de reactivos/muestra para titulación de Fehling.

Para la medición de azúcares totales, se realizó un pretratamiento de digestión de las muestras donde se tomaron 5 g de muestras, se agregó 1 mL de ácido clorhídrico puro y se aforo a 100 mL en un matraz bola de fondo plano. Se dejó reposar por 30 min y se neutralizó hasta un pH de 7. Por último, se siguió la misma metodología de medición previamente descrita para azúcares directos. Se anotó el gasto obtenido por la bureta y los datos se sustituyeron en la ecuación 2, una vez obtenidos los resultados de los azúcares directos y los totales, se restaron entre sí y se obtuvieron los azúcares indirectos (la proporción se puede observar en la Figura 9).

Ecuación 2. Determinación de azúcares por el método de Fehling

$$\% \text{ Azúcares} = \frac{(V_b - V)(C)}{g} (100)$$

Dónde:

V_b = Volumen de gasto de glucosa patrón en la estandarización (mL)

V = Volumen de gasto de glucosa patrón en la muestra (mL)

g= gramos de muestra utilizada (considerar sus diluciones)

C= concentración de la glucosa patrón (0.5 g de glucosa/100 mL)

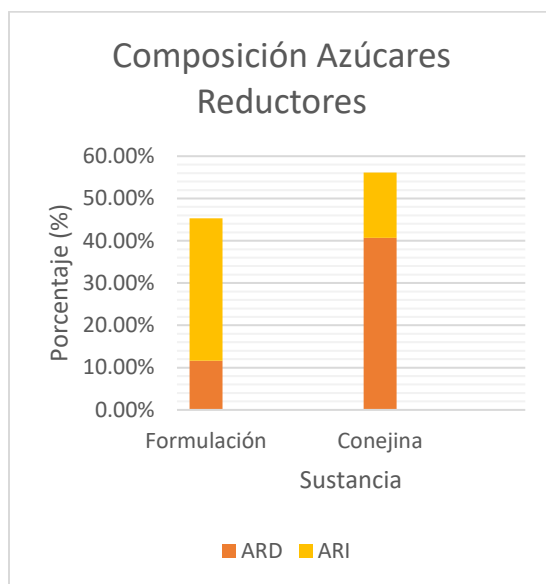


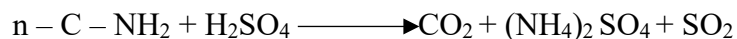
Figura 9. Proporción de azúcares en las muestras analizadas.

Proteínas

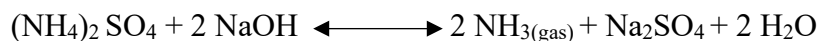
El método utilizado en el análisis de proteínas corresponde a método Kjeldahl (Figura 10), este consta en una digestión sumamente oxidativa por digestión de ácido sulfúrico (junto a un catalizador) en presencia de altas temperaturas y por tiempos prolongados. Este método consiste en la transformación de nitrógeno presente en una muestra, previamente pesada, en sulfato de amonio mediante la digestión ácida alcalinizando la solución. Posteriormente a la digestión y la generación de las sales de sulfato de amonio, estas se destilan en un sistema específico que atrape los gases generados por la reacción que se llevara a cabo. Al tener un sistema cerrado, podemos redirigir los gases generados y atraparlos en una trampa de agua y ácido bórico al 4% obteniendo nuestra muestra para la titulación con ácido clorhídrico al 0.1 N y calcular así el contenido de nitrógeno de la muestra.

En las Ecuación 5 podemos visualizar las reacciones químicas que fundamentan este método:

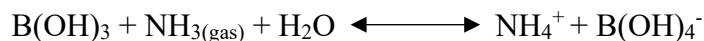
Ecuación 3. Reacción química de digestión



Ecuación 3:



Ecuación 4. Reacción de la destilación



Ecuación 5. Reacción en la titulación



X= este símbolo refiere a un ácido fuerte (Cl, etc.)

(Gmbh, 2024)

Para el desarrollo de la metodología se pesaron 0.5 gramos de muestra en triplicado para hacer un total de 6 matraces especiales para la digestión. Una vez se pesó la muestra se añadieron 5 gramos del catalizador (mezcla de sulfato de potasio y de sulfato de cobre) finamente molidos a cada tubo y se añadieron 10 mL de ácido sulfúrico concentrado para iniciar la reacción. Una vez se agregaron los 10 mL de ácido y se prendió el equipo de digestión, se introdujeron los tubos pertinentes al digestor y se fue elevando la temperatura de 50°C en 50°C cada 15 – 20 min evitando la generación de espuma y hasta alcanzar los 430°C indicados por el sistema.



Figura 10. Equipo de digestión Kjeldahl con matraces y muestra digerida (apreciar el fondo color esmeralda).

Terminando la digestión, se pasó al proceso de destilación donde se vertió el contenido del tubo de digestión a un equipo especializado (Figura 11) donde se llevó a cabo la reacción redox. Para esta reacción se agregaron 50 mL de NaOH al 50% y se agregaron 50 mL de agua, se encendió un baño María y espero a que la reacción se llevara a cabo, se dejó por unos 15 -20 minutos después de iniciarse la reacción y se recuperó NH_4^+ en una solución de 50 mL de ácido bórico al 4%.



Figura 11. Equipo de destilación con matraz de ácido bórico.

Una vez se recuperó un volumen aproximado de 50 mL (para un total de 100 mL en el matraz de ácido bórico) se tituló con ácido clorhídrico al 0.1 N y se apuntó el gasto en mL del ácido. Por último, se utilizó la Ecuación 6 para calcular el porcentaje de nitrógeno presente en cada muestra.

Ecuación 6. Ecuación de cálculo de nitrógeno

$$\% \textit{ proteina} = \frac{(V)(N)(0.14)(F)}{g} * 100$$

Donde:

V = Volumen gastado de ácido en la titulación (mL)

N = Normalidad del ácido clorhídrico (meq/mL)

g = Gramos de muestra pesados (g)

F = Factor de conversión de nitrógeno a proteína (para la formula se utilizó 6.25, para la conejina se utilizó 5.83)

0.14 = Peso equivalente del nitrógeno

Grasas

La metodología para la obtención de grasas es un método sencillo de hacer, pero tardado, en primera instancia tenemos que llevar a peso constante los matraces bola esmerilados de fondo plano para obtener datos con mayor precisión. Una vez tengamos los pesos constantes se pesan de 3 – 5 g de muestra por matraz y se prepara el equipo de extracción Soxhlet (Figura 12) que consta de una termoplaca, el matraz bola, extractor Soxhlet y un condensador de rosario en la parte más alta. Se agregan de 80 mL a 120 mL de hexano por la boquilla del condensador rosario y el extractor hará un efecto de sifón en el extractor para redirigir el liquido al matraz bola, cuando de haya logrado que el hexano este en el matraz, se recircula agua fría por el condensador y se enciende la termoplaca para comenzar el proceso de evaporación de hexano y que este vaya extrayendo los lípidos presentes en las muestras.



Figura 12. Equipo de extracción Soxhlet montado

Este proceso es un poco tardado debido a que tiene que, por lo menos, haber sifonado 4 veces para considerar que extrajo la mayor parte de lípidos. Para este análisis se dejó 6 veces y se observó que a partir de la quinta vez no existía un cambio significativo en la coloración del hexano con la muestra. Por último se destiló el hexano del matraz bola y se dejó en el horno de secado (105 °C) por 30-50 min para secar totalmente la muestra. Una vez se seco se enfriaron los matraces bola y se pesó en una balanza analítica, se anotaron los datos y se remplazaron utilizando la ecuación 7.

Ecuación 7. Determinación ácidos grasos por el método de Soxhlet

$$\% \text{ Extracto etereo} = \frac{P_f - P}{g} (100)$$

Dónde:

P = Tara del matraz (gramos)

Pf = Peso del matraz con grasa (gramos)

g = Peso de la muestra (gramos)

Fibra

Al igual que la medición de humedad, se llevaron a peso constante 6 papeles filtro para medición gravimétrica de fibra cruda en la formulación y la conejina con el mismo índice de varianza ± 0.001 g. En los análisis de fibra se utilizó el aparato standart (Figura 13) para medición de fibra cruda, donde básicamente es un digestor de proteínas, carbohidratos y lípidos que extraen dichos componentes de las estructuras fibrosas de los alimentos y los disuelven bajo ciertas condiciones de acidez y temperatura dejando así la estructura pura del alimento sin nutrientes.



Figura 13. Aparato extractor de fibra.

Para la metodología de fibras, se tuvo que partir en dos procesos: el primero constó de una digestión ácida con H_2SO_4 al 1.25% y con 2 gramos de muestra por cada repetición y cada alimento. Estas se dejaron en ebullición por 30 min para garantizar la solubilización de las partes proteicas presentes en los alimentos. Se instaló un extractor de vacío con un matraz Kitasato y un embudo Buchner y una vez transcurridos los 30 min se extrajo todo el líquido presente en los matraces Berzelius para recuperar la materia orgánica no digerida. Se le hicieron lavados con agua destilada caliente y una vez se terminaron los lavados se raspo la materia fibrosa del filtro para prepararla a la segunda parte del proceso.

La segunda parte del proceso consto en la digestibilidad de carbohidratos mediante medios alcalinos, en este caso de utilizó lo más común NaOH al 1.25% y se repitió la metodología previamente descrita. Al finalizar los lavados de agua hirviendo, con el matraz Kitasato y el embudo Buchner, se realizó tres lavados con alcohol etílico absoluto con la finalidad de arrastrar cualquier residuo persistente en el filtrado. Posteriormente a esto se colocaron los papeles filtros identificados en un horno a 105 °C por un lapso de una hora para secarlos correctamente y se transfirieron a un crisol llevándolos a una mufla por una hora a 600°C. Transcurriendo la hora programada, se retiraron los crisoles de la mufla y se dejaron enfriar, una vez estuvieran fríos se pesó y registro el peso.

Ecuación 8. Determinación de fibras totales

$$\%fibra = \frac{(A - B) - (C - D)}{g} * 100$$

Dónde:

A=Peso de residuo seco en papel filtro

B=Peso del papel filtro constante

C=Peso de crisol más cenizas

D=Peso de crisol constante

g= Peso de la muestra

Cenizas

Al igual que otras metodologías, se tiene que hacer un proceso previo en la obtención de los pesos constantes para los materiales que se pesaran, en este caso son crisoles. Para la metodología principal se pesó 2 g de muestra y se quemaron dentro de la campana de extracción para minimizar el humo que pudiera salir de la mufla. Ya que se observó la carbonización de la muestra y que no expedía más humo, se transfirieron los crisoles a una mufla previamente calentada a 600 °C y se dejaron calcinar por aproximadamente 4 horas o hasta observar que el contenido fuera totalmente blanco. Se dejaron enfriar los crisoles y se pesaron en una balanza analítica, se apuntó el dato y se reemplazaron utilizando la ecuación 9.

Ecuación 9. Determinación de cenizas

$$\%cenizas = \frac{Pf - P}{g} (100)$$

Donde:

Pf = peso final (tara de crisol + cenizas de la muestra)

P = Tara de crisol

g = gramos de muestra

Validación *in vivo*

Con el propósito de evaluar el impacto del pelletizado generado se realizó una validación del contenido nutricional en ratones albinos (*Mus musculus*).

Metodología

Se adquirieron 6 individuos de la especie de sexo femenino para validación *in vivo* de la efectividad de la alimentación a base de la formulación contrastando con conejina comercialmente disponible. 3 de los individuos fueron alimentados con 2 porciones de g de la formulación formando el grupo F, mientras que las otros 3 fueron alimentados con conejina, formando el grupo C. Los individuos del grupo F permanecieron en un habitat diferente al de los del grupo C de modo que no pudieran compartir alimento entre grupos.

Todo esto realizó acorde a la norma NOM-062-ZOO-1999, dado que:

El alimento otorgado a los sujetos está libre de aditivos, drogas, hormonas, antibióticos, pesticidas y contaminantes, se encuentra dentro de su periodo de caducidad y estuvo almacenado en un cuarto seco y ventilado.

Alojamiento

El alojamiento fue elegido para reducir las variables experimentales, proporcionando un espacio para permitir movimientos y posturas normales de la especie, estando cerrado para

evitar escapes y proteger de amenazas externas, con adecuada ventilación. Debido al uso de roedores se utilizó una caja con piso sólidos y tapa removible con reja.

El recinto tiene unas dimensiones de 16x22x15cm, con un área de superficie de 352 cm², para 3 individuos de más de 25 gramos de peso es suficiente dado los 97 cm² por individuo y los 12 cm de altura requeridos (Secretaría de agricultura, ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 1999) .



Figura 14. Alojamiento de los individuos

Alimentación

Para la alimentación de los grupos se optó por 2 comidas por día (en la mañana y en la noche) para los conjuntos de individuos. Los gramos que se le suministró a cada grupo fueron de 20 – 50 gramos por día, esto dependía que tanto comían en 24 horas y el sobrante de cada tazón.



Pesaje

Para el pesaje se realizaron mediciones con una frecuencia variable de entre 2 y 5 días entre medición. Todas las mediciones se realizaron en la mañana antes de la primera comida del día. En el cálculo de la ganancia de peso se restó del peso inicial a cada medición de peso para obtener un delta y observar si existía diferencia significativa en las ganancias de pesos diarios.



Figura 15. Individuo siendo pesado

Talla

Para la medición de talla se realizaron mediciones a la par del pesaje de los individuos, colocándola a un lado del individuo a medir. Esto se realizó con un flexómetro y el objetivo fue medir la longitud, desde la cabeza hasta la punta de la cola con el objetivo de observar algún cambio en estas mediciones.

Voracidad

En la voracidad de alimento, se realizó mediante la primera comida del día y se cronometró por un lapso de 20 minutos después de colocar el alimento. Pasando los 20 minutos se pesaron los restantes para observar un delta de alimentos proporcionado alimento después de 20 min, esto nos daría como resultado los gramos ingeridos por los ratones en cada tratamiento.



Figura 16. Individuo consumiendo la formulación

Simulación del proceso a escala industrial

Se desarrolló una simulación en SuperPro Designer® del proceso de producción de pelletizado a partir de la BSFL utilizando los parámetros reportados por la literatura expuestos en la Tabla 1

Se realizó una simulación del proceso de producción del pelletizado desde la recolección de residuos hasta la extrusión de los ingredientes para formar un pelletizado. Esta se desarrolló utilizando los parámetros óptimos reportados por literatura.

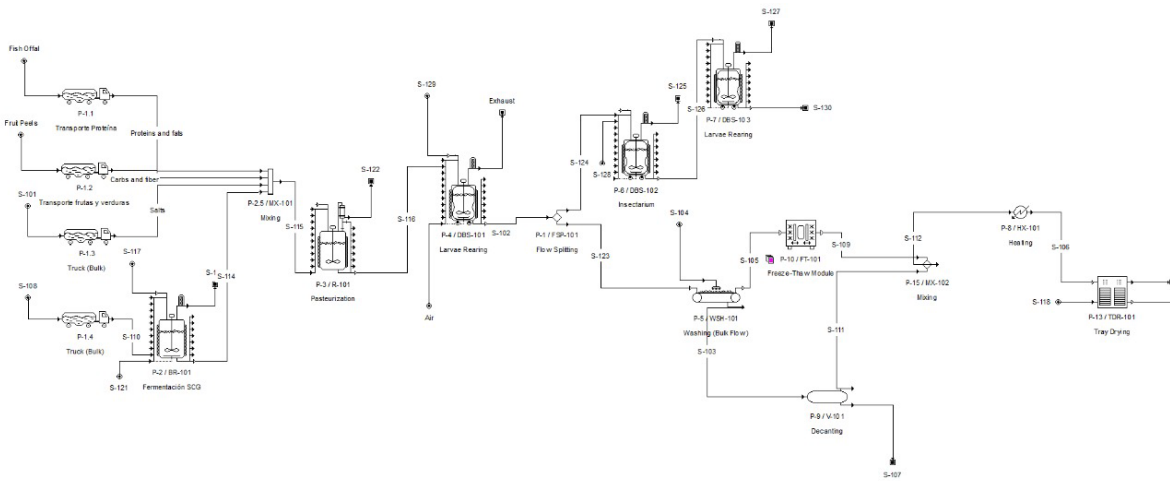


Figura 17. Panorama general del proceso de producción de larva desecada

La figura 17 muestra el proceso total en la crianza de la larva, este proceso ya está establecido para las personas que se dedican a la crianza de *Hermetia illucens*, pero se decidió ir un paso más adelante proponiendo nuevas operaciones que maximicen la engorda y minimicen el tiempo de residencia de la misma. Esto lo podemos observar en la Figura 18, la cual consta de un pretratamiento de desechos orgánicos con el objetivo de pasteurizar los desechos y oxidar ciertas moléculas generando más biodisponibilidad de nutrientes para el sustrato que se le dará como alimento a las camas de las larvas.

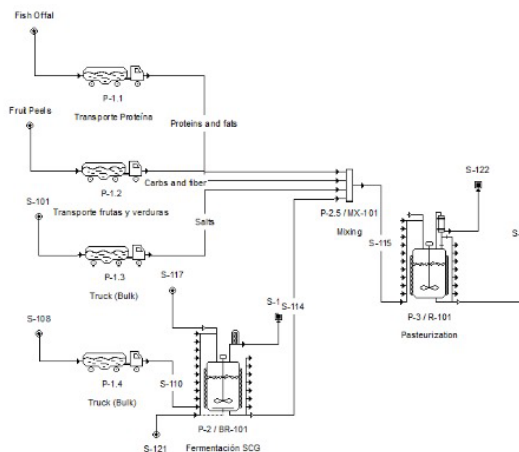


Figura 18. Downstream del proceso de producción de larva, (transporte, fermentación de borra café, mezcla de flujos y pasteurización del sustrato)

Para la parte del midstream (Figura 19), se representan la engorda de larvas, recolección de candidatos para el lavado y secado, separación de larvas designadas a la reproducción y selección de larvas destinadas a el sacrificio y producción de harinas. La etapa de crianza y de reproducción se sujetan a las condiciones descritas en la Tabla 1, ya que estas mostraron tener índices de supervivencia de 80%-90% entre cada operación unitaria. A su vez el modelo cinético que se empleó para simular la producción de harina (Ecuación 10), esta implementado en la operación del crecimiento de biomasa, ya que esta es la engorda de las larvas y los flujos que salgan de aquí afectaran a toda la producción.

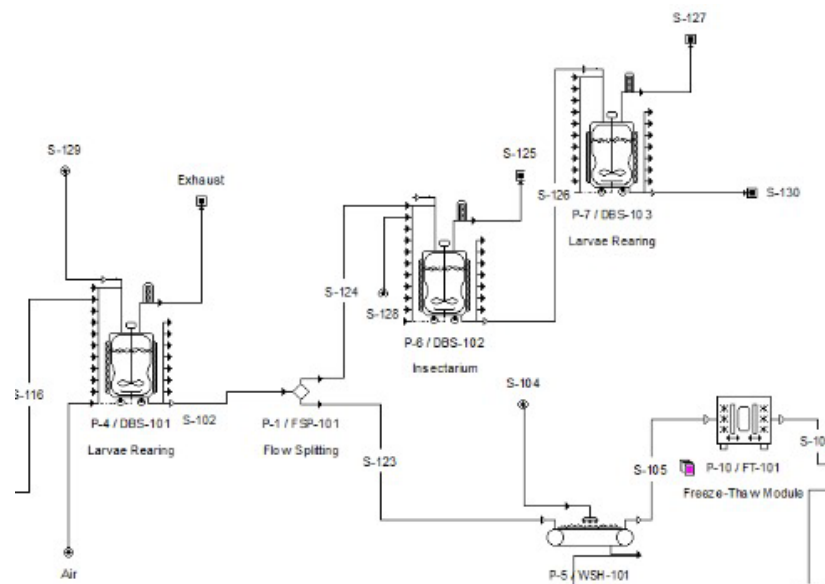


Figura 19. Midstream del proceso de producción de larva, (crianza de larvas, reproducción de adultos, incubación de huevos, lavado y sacrificio de larvas).

Ecuación 10. Modelo cinético empleado en la simulación

$$\frac{dB_{dry}}{dt} = \epsilon_{inges} r_{assim} k_{inges} B_{dry} - r_{mat} k_{main} B_{Dry}$$

Downstream

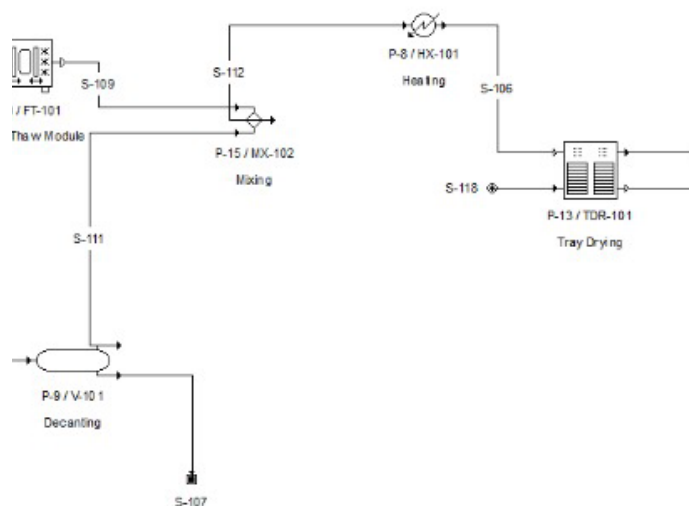


Figura 20. Downstream del proceso de producción de larva, (recuperación del agua del lavado, escaldamiento y desecado de las larvas).

Por último, la Figura 20 describe el proceso de downstream, aquí básicamente es la transformación de la materia prima húmeda en materia seca. Las operaciones principales en este bloque de proceso es el sacrificio y el secado/deshidratado de las larvas para generar larva seca y posteriormente entrar a la pelletización y generación de los formulados.

1.6. Valoración de productos, resultados e impactos

Los resultados obtenidos en los análisis bromatológicos de cada alimento, indica que la formulación generada en este PAP tiene una similitud muy grande en comparación con la comida general que se compró en el mercado (Figura 21). Sin embargo, cabe mencionar que existieron tres diferencias fundamentales en los alimentos; fibra, ácidos grasos y composición de carbohidratos, la fibra es importante en la alimentación de los animales ya que les ofrece una salud intestinal de alta calidad haciendo que las heces de los animales tengan más cuerpo y lleguen a limpiar más los intestinos, la conejina en este aspecto tiene más cantidad de fibra lo cual es mejor en comparación de nuestra formulación. Los ácidos grasos por otra parte se ven con mayor proporción en la formulación diseñada en este PAP, de lo que tiene una mayor afinidad a tener ácidos grasos insaturados ofreciéndoles una mejor calidad en síntesis

hormonales a los animales y que lleguen a cumplir sus funcionamientos endocrinos adecuadamente. Por último, los carbohidratos a simple vista no parecieran mostrar alguna diferencia significativa entre alimentos pero si recordamos la sección de metodología para carbohidratos y en específico la Figura 9, se observa una mayor cantidad de azúcares indirectos en la formulación, o lo que es igual, carbohidratos complejos donde estos últimos son cadenas largas de carbohidratos que llegan a tener vitaminas y minerales en sus estructuras, haciéndolos así más saludables para el animal.

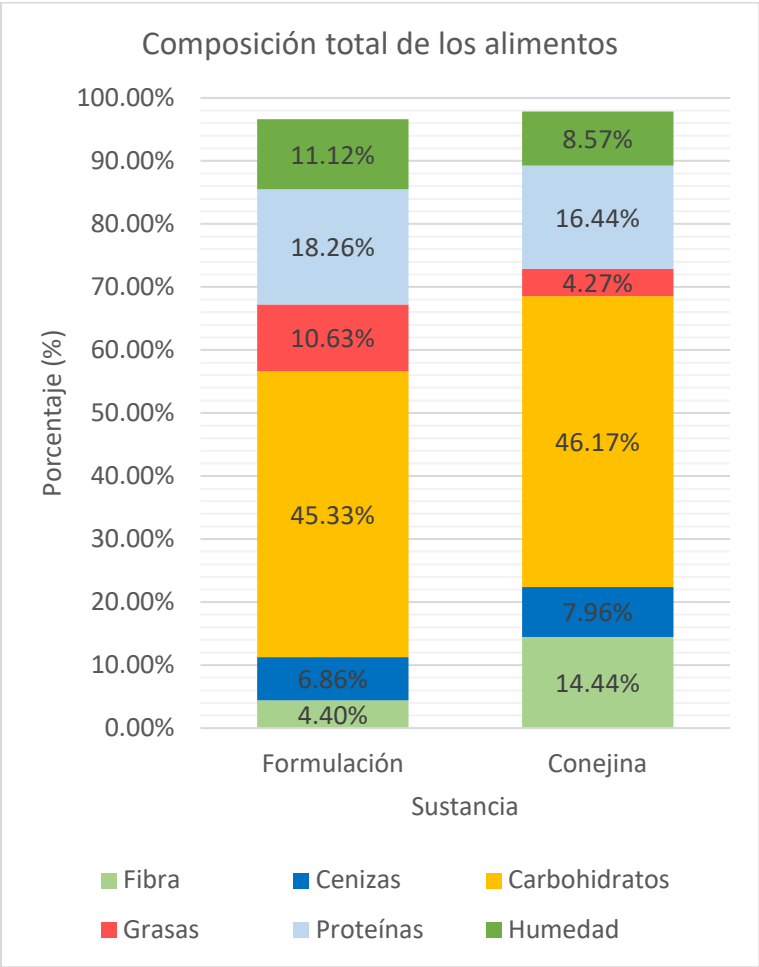


Figura 21. Composición bromatológica de cada alimento

En la parte comparativa de la ganancia de pesos por los individuos en los tratamientos diseñados, se realizó un análisis estadístico con prueba de Student de dos colas para varianzas desiguales con un alfa de 0.05 obteniendo un valor P de 0.017. Esto marca una diferencia

significativa debido a que el valor p es mucho menor que el valor alfa postulado, si hacemos una comparativa en cuanto diferencia existe entre los valores, podríamos decir que esta diferencia es de un 34%. Analizando la observamos que el tratamiento con mejores resultados fue el tratamiento formulado por los alumnos del PAP, esto podría deberse a lo previamente expuesto sobre la composición de ácidos grasos y la calidad de carbohidratos presentes en el formulado.

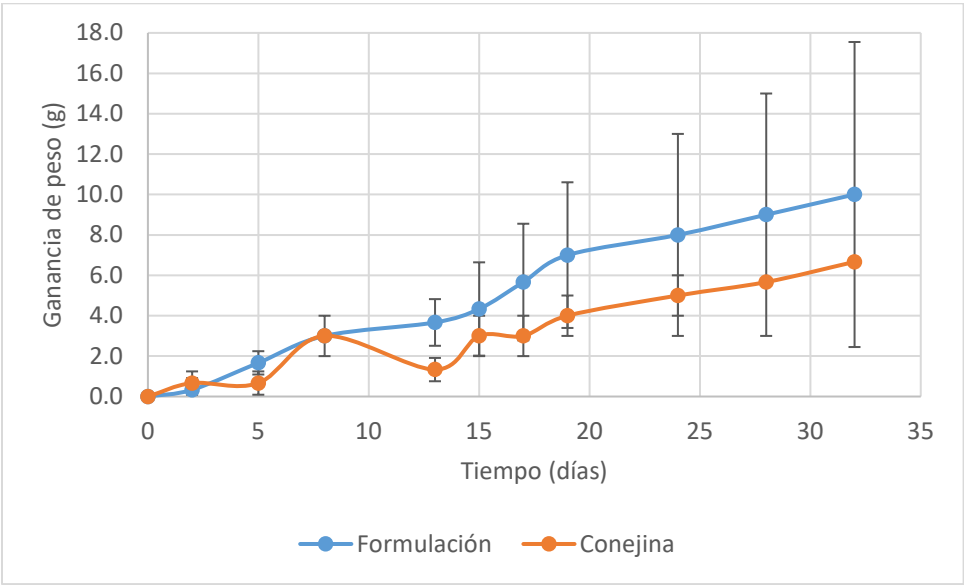


Figura 22. Ganancia de peso por tratamiento

Para concluir, se realizó un análisis de costos tomando en cuenta los procesos de la crianza, el transporte, renta de lugar, pago de personal y distribución del producto con el fin de valorizar nuestro producto de formulación y observar en comparativa con los precios de los pelletizados en mercado. Observando la Tabla 6 podemos percatarnos que existen condiciones pertinentes para que el costo por kilogramos de pelletizado se estable en 7 pesos, esta sería hacer 18.5 toneladas de alimento mensualmente para alcanzar el punto de equilibrio de los costos.

Tabla 5. Costo unitario para producción de pelletizado

Costo unitario variable de producción de lo vendido	\$	6.76
---	----	------

$\text{CUVPV} = \text{CUV} \times \text{unidades vendidas} = \text{costo variable} + \text{Gastos de operación variables} = \text{Costo variable total} / \text{unidades vendidas}$

Tabla 6. Punto de equilibrio para producción de pelletizado

Punto de Equilibrio	18421
$\text{GIFF} + \text{GOF} / \text{Contribución marginal (Cantidad de unidades por vender al precio actual para quedar tablas)}$	

Sin embargo, el análisis realizado en la Tabla 5 muestra solamente el costo de producción, se estima una venta a mercado de 12 pesos por kilogramos que llega a ser un peso más caro que otros alimentos generales a granel, sin embargo, el impacto económico si es pertinente por la efectividad de un 34% más con la formulación generada. Esto podría llegar a ayudar a los micros, pequeños y medianos productores a tener una alternativa viable para comprar formulados que cumplan las necesidades nutricionales de sus engordas y llegar a ser competentes en el mercado actual.

1.7. Bibliografía y otros recursos

- Andrea de Anda, E. G. (17 de Junio de 2021). *Cibnor*. Obtenido de Organic waste; garbage or resource: https://www.cibnor.gob.mx/revistas/pdfs/vol1num3EE/3_RESIDUOS.pdf
- Aristóteles, J., Ruiz, M., Parra, E., & Cortinas, C. (2017). *Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de Residuos del Estado de Jalisco 2016-2022*.
- Ayuntamiento de Guadalajara: Medio Ambiente. (2018). *Ayuntamiento de Guadalajara*. (Programa Municipal para)
- Banco Mundial. (31 de julio de 2023). Obtenido de Seguridad Alimentaria: <https://www.bancomundial.org/es/topic/agriculture/brief/food-security-update#:~:text=Alrededor%20del%209%2C%20%25%20de,%25%2C%20enfrent%20%20inseguridad%20alimentaria%20grave>.
- Fanatico, A. (03 de diciembre de 2013). *El sitio avícola* . Obtenido de Alimentación de pollos para obtener mejor salud y mayor rendimiento:

- <https://www.elsitioavicola.com/articles/2491/alimentacion-de-pollos-para-obtener-mejor-salud-y-mayor-rendimiento/>
- Geoffrey Ssepuuya, I. M. (13 de Abril de 2016). *National Library of Medicine*. Obtenido de Food Science and Nutrition: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5217929/>
- Gmbh, P. Q. (07 de Mayo de 2024). *Determinación de nitrógeno por el metodo Kjeldahl*. Obtenido de https://www.itwreagents.com/uploads/20180122/A173_ES.pdf
- Gobierno del Estado de Jalisco. (2020). *Gobierno del Estado de Jalisco*. (Área Metropolitana de Guadalajara:) Obtenido de <https://www.jalisco.gob.mx/es/jalisco/guadalajara>
- Gobierno del Estado de Jalisco. (2019). *Gobierno del Estado de Jalisco*. (Lanza Gobierno de Jalisco programa) Obtenido de <https://www.jalisco.gob.mx/es/gobierno/comunicados/lanza-gobierno-de>
- Heussler, C., Walter, A., Oberkofler, H., Insam, H., Arthofer, W., Schlick-Steiner, B., & M. Steiner, F. (2018). Influence of three artificial light sources on oviposition and half-life of the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae): Improving small-scale indoor rearing. *PLOS*, 1-10.
- Ibarra Esparza, F. E. (Junio de 2023). *Tecnológico de Monterrey*. Obtenido de Repositorio Institucional del Tecnológico de Monterrey: <https://repositorio.tec.mx/handle/11285/651833>
- INEGI. (2020). *INEGI*. Obtenido de Número de Habitantes Jalisco: <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/jal/poblacion/>
- ITESO. (2016). Obtenido de Organigrama de funcionarios del ITESO: <https://iteso.mx/es/web/iteso/directorio#pills-6>
- ITESO. (2016). *ITESO*. Obtenido de Misión del ITESO: https://iteso.mx/es/web/general/detalle?group_id=30156#:~:text=Tiene%20como%20misi%C3%B3n%3A%20a%29%20Formar%20profesionales%20competentes%20C%20libres,cultura%20en%20la%20b%C3%BAsqueda%20permanente%20de%20la%20verdad.
- Linggawatsu Syahrulawal, e. a. (03 de Diciembre de 2023). *Journal of animal science and biotechnology*. Recuperado el 10 de Abril de 2024, de <https://jasbsci.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40104-023-00945-x>

- Maguey, H. (29 de Octubre de 2019). *Gaceta UNAM*. Obtenido de Más de 80% del agua se va en uso agrícola y de la industria: <https://www.gaceta.unam.mx/crisis-agua-industria/#:~:text=En%20M%C3%A9xico%2C%20seg%C3%BAn%20la%20Comisi%C3%B3n,es%20de%20alrededor%20de%2010%25>.
- Naciones Unidas*. (2022). Obtenido de Población: <https://www.un.org/es/global-issues/population#:~:text=Se%20estima%20que%20la%20poblaci%C3%B3n,millones%20para%20mediados%20de%202080>.
- PROGRESAN-SICA. (3 de mayo de 2023). *SICA*. Obtenido de Informe Mundial sobre Crisis Alimentarias 2023 deleva que 9.7 millones de personas están en inseguridad alimentaria aguda en cuatro países del SICA cuadruplicando la cifra del 2018: https://www.sica.int/noticias/informe-mundial-sobre-crisis-alimentarias-2023-deleva-que-9-7-millones-de-personas-estan-en-inseguridad-alimentaria-aguda-en-cuatro-paises-del-sica-cuadruplicando-la-cifra-del-2018_1_131941.html
- Rafael Orozco Campo, R. M. (28 de febrero de 2004). *Redalyc*. Obtenido de Costos de producción en la cría de pollos de engorde: <https://www.redalyc.org/pdf/290/29092806.pdf>
- Schulz, D. G. (29 de Noviembre de 2021). *Springer Link*. Obtenido de Compilation of Black Soldier Fly Frass Analyses: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42729-021-00703-w>
- Secretaría de agricultura, ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (1999). NORMA Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999, Especificaciones técnicas para la producción, cuidado . *Diario Oficial de la nación*. Obtenido de <https://www.fmvz.unam.mx/fmvz/principal/archivos/062ZOO.PDF>
- SEMARNAT. (2018). *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. Obtenido de Informe del Medio Ambiente en México 2018: https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/pdf/Cap7_Residuos.pdf
- SEMARNAT. (2022). PROGRAMA ESPECIAL DERIVADO DEL PLAN NACIONAL DE DESARROLLO 2019-2024. *Diario Oficial de la Federación*. Obtenido de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5673264&fecha=05/12/2022#gs.c.tab=0

- Spykman, R., Mahdi Hossaini, S., A. Peguero, D., Green, A., Heinz, V., & Smetana, S. (2021). A modular environmental and economic assessment applied to the production of *Hermetia illucens* larvae as a protein source for food and feed. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 1959-1976.
- Vargas-Hernández, J. G. (2019). The Circular Economy: Analysis Based on The Theory of Resources and Capabilities. *Revista Gesta estão & Sustentabilidade*, 298 - 309. doi:10.36661/2596-142X.2019v1i1.10902
- Vries, E. S. (04 de Abril de 2020). *ELSEVIER*. Obtenido de Potential benefits of using *Hermetia illucens* frass as a soil amendment on food production and for environmental impact reduction: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2452223620300225>
- Zúñiga-Rojas, R., & Luna-Díaz, J. d. (2010). *Laboratorio de química de alimentos*. Tlaquepaque: Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales-ITESO.

2. Productos

Nombre y código del PAP (como en la carátula):	P2024_PAP4D09A Programa de desarrollo tecnológico para la sustentabilidad ambiental energética y alimentaria 1
Nombre del sub proyecto (como en la carátula):	Larvimex, alimentos integrales para animales
Nombre del producto:	Federina
Descripción (qué es, para quién se realizó y para qué es):	La federina es un alimento formulado para cumplir las necesidades generales de una gran variedad de animales, fortificado con minerales para un mejor absorción y funcionamiento sistémico del animal, la presentación es en pellet con una alta palatabilidad para los animales.

Autores:	Luis Alberto Sepúlveda Galindo Ángel Sebastián López Vargas José Federico Lobato
----------	--

Nombre y código del PAP (como en la carátula):	P2024_PAP4D09A Programa de desarrollo tecnológico para la sustentabilidad ambiental energética y alimentaria 1
Nombre del sub proyecto (como en la carátula):	Larvimex, alimentos integrales para animales
Nombre del producto:	LarviFrass
Descripción (qué es, para quién se realizó y para qué es):	LarviFrass es un subproducto de la crianza de larva mosca soldado negro, este son los residuos generados en el proceso de engorda específicamente los cuales tienen un valor importante para la implementación en la agricultura orgánica. Este es un fertilizante en polvo que se le aplica a la base de cada planta suministrando así un porcentaje de la demanda NPK pertinente para cada individuo, también contiene micronutrientes en suelo, así como microorganismos benéficos haciéndolo un fertilizante completo para nutrir tanto al suelo como a las plantas.
Autores:	Luis Alberto Sepúlveda Galindo Ángel Sebastián López Vargas José Federico Lobato

3. Reflexión crítica y ética de la experiencia

El RPAP tiene también como propósito documentar la reflexión sobre los aprendizajes en sus múltiples dimensiones, las implicaciones éticas y los aportes sociales del proyecto para compartir una comprensión crítica y amplia de las problemáticas en las que se intervino.

3.1 Sensibilización ante las realidades

Luis Alberto Sepúlveda Galindo: En el desarrollo de esta investigación me di cuenta de que tiene un impacto social muy grande, dentro de los cuales el ayudar a las personas a percibir más dinero por sus actividades pecuarias es del cual nace este proyecto. La solución que se propuso fue la formulación de un alimento que desplace ingredientes caros y que sea más económico para el consumidor o tenga una mejor efectividad en la ganancia de peso por un precio de mercado equivalente a los productos generales. Otro grande beneficio que aporta este proyecto es el manejo integral de los residuos sólidos urbanos en materia orgánica, dando una mejor valorización de los mismos para producir ingrediente que beneficien a las actividades primarias; el primero es larva de mosca la cual tiende a tener un nivel de proteína y ácidos grasos beneficios y en cantidades adecuadas para la salud animal; el segundo es la transformación de la materia orgánica en fertilizantes orgánicos de alta accesibilidad y estabilidad beneficiando directamente al campo mexicano al aportar vida sus suelos.

Con esto podríamos decir que sin pensarlo como tal se generó una investigación que en el fondo tiene un sistema de economía circular al valorizar todos los productos y materia prima requeridas para el funcionamiento de este proceso. Esto da como resultado la posibilidad de una empresa que tenga una alta afinidad al apoyo social, económico y ambiental integrando las necesidades de todos los involucrados de las diferentes áreas.

Ángel Sebastián Vargas López: Durante el desarrollo de este trabajo me percaté del alcance y la capacidad transformativa del proyecto, siendo capaz de abaratar costos para los ganaderos, fomentando la auto sustentabilidad de las economías locales. Teniendo un peso competitivo y resultados favorables para desarrollo y bienestar del animal, usando desechos

urbanos como sustrato; reduciendo el impacto ambiental de la ciudad ayudando al cuidado de recursos en el campo. Este proceso de valorización de materias de desechos es uno de los enfoques de la biotecnología, pero es magnificado por el potencial transformador de *Hermetia illucens* dado su escala macroscópica y su alta voracidad. Tanto los ganaderos como los agricultores se verán beneficiados debido al frass producido por los lixiviados de la mosca. La disponibilidad y capacitación de asociaciones agropecuarias con esta tecnología para un tratamiento de residuos y alimentación de ganado incentivará la economía local fortaleciendo al campo.

3.2 Aprendizajes logrados

Luis Alberto Sepúlveda Galindo: Este PAP me dio paso a sensibilizar con los problemas de las actividades económicas primarias, sector agrario y pecuario, y observar cómo es que día con día los productores locales micros, pequeños y medianos tienen más difícil el seguir con lo que llevan haciendo por generaciones a causa del aumento en precios de todos sus insumos, donde el gasto en alimentos y agua consume el 70% de sus gastos totales. Comparando esto con las macroempresas que tienen extensiones territoriales gigantescas y que por el volumen de producción se permiten poder pagar el aumento de precios, los MiPymes cada vez van disminuyendo y si bien en el mejor de los casos disminuyen su producción para ajustarse a lo que pueden comprar y seguir percibiendo un beneficio monetario, en el peor de los casos simplemente desaparecen del mercado al no ser competencia contra los grandes productores. Por este motivo decidimos tratar de aportar una alternativa que ayude a dichos productores a seguir con sus actividades sin verse afectados por el alza de los alimentos.

Por mi parte, cabe mencionar que consolide aptitudes de investigación, análisis de datos, diseño de experimentos, trabajo en equipo, trabajo bajo presión, comunicación activa y sobre todo buenas prácticas de laboratorio. Estos conocimientos fueron muy pertinentes a lo largo de esta investigación/propuesta para lograr los resultados obtenidos, siendo prometedores para investigaciones futuras.