



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería

Maestría en Diseño e Innovación

**“Estrategia de cultivo de lenteja de agua (*Lemna gibba*)  
con estiércol de bovino como alimento alternativo  
para productores ganaderos”**

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener  
el Grado de Maestro en Diseño e Innovación

Presenta

LDI. María Fernanda Guzmán Zepeda

Dirige

M. en I. Jorge Arturo García Pitol

M. en I. Jorge Arturo García Pitol  
Presidente

Dra. Alejandra Nivón Pellón  
Secretario

M. en GIC. Omar Yair Durán Rodríguez  
Vocal

Dra. Magdalena Mendoza Sánchez  
Sinodal

Dr. Juan Pablo Ramírez Herrejón  
Sinodal

Centro Universitario, Querétaro, Qro.  
Diciembre 2024  
México

La presente obra está bajo la licencia:  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

### Usted es libre de:

**Compartir** — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

### Bajo los siguientes términos:



**Atribución** — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



**NoComercial** — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



**SinDerivadas** — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

**No hay restricciones adicionales** — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

### Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería

Maestría en Diseño e Innovación

**“Estrategia de cultivo de lenteja de agua (*Lemna gibba*)  
con estiércol de bovino como alimento alternativo  
para productores ganaderos”**

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de  
Maestro en Diseño e Innovación

Presenta

LDI. María Fernanda Guzmán Zepeda

Dirigido por:

M. en I. Jorge Arturo García Pitol

M. en I. Jorge Arturo García Pitol  
Presidente

Dra. Alejandra Nivón Pellón  
Secretario

M. en GIC. Omar Yair Durán Rodríguez  
Vocal

Dra. Magdalena Mendoza Sánchez  
Sinodal

Dr. Juan Pablo Ramírez Herrejón  
Sinodal

Centro Universitario, Querétaro, Qro.  
Diciembre 2024  
México

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero expresar mi agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo financiero y la oportunidad de desarrollar este proyecto de investigación.

A la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ) y a la Facultad de Ingeniería (FI), por ser el pilar académico en el que se ha cimentado mi formación profesional.

Mi agradecimiento también a la Secretaría de Desarrollo Agropecuario (SEDEA) del Estado de Querétaro, por su colaboración y apoyo en el contexto local, así como a la Asociación Ganadera Local de Amealco (AGLA) y a los administradores de "*La Mora*" por su involucramiento y disposición en esta investigación, aportando valiosa información y permitiendo la implementación práctica de mi trabajo.

A Dios, por darme la fortaleza, la sabiduría y la oportunidad de concluir este importante proyecto.

A mi familia, especialmente a mi mamá y a mi hermano, por su amor incondicional, su constante apoyo y por ser mi mayor fuente de motivación. No habría llegado hasta aquí sin su respaldo inquebrantable. A mi querido Nikko, mi fiel compañero durante mi adolescencia y juventud, con quien compartí interminables horas de estudio. Su presencia fue un pilar emocional en cada etapa de este proceso, brindándome consuelo y fortaleza.

A mis sinodales, su experiencia y conocimientos han sido esenciales para mejorar este proyecto. Agradezco profundamente su compromiso y apoyo durante todo el proceso, especialmente por la paciencia y generosidad con la que me han guiado en este camino académico.

## INDICE

RESUMEN.....	12
INTRODUCCIÓN.....	14
I. ANTECEDENTES.....	15
1.1 Actividad ganadera .....	15
1.1.1 Impacto ambiental de la ganadería .....	17
1.1.2 Ganadería sustentable.....	18
1.1.3 Ganadería bovina de carne en México.....	20
1.1.4 Ganadería bovina de carne en Querétaro.....	24
2.1 Sistema de engorda en corral .....	26
2.1.1 Prácticas de manejo para el crecimiento del ganado dentro de las fincas.....	27
2.1.2 La alimentación en las unidades de producción pecuaria .....	27
3.1 Lenteja de agua ( <i>Lemnaceae</i> ) .....	30
3.1.1 Características generales .....	30
3.1.2 Taxonomía.....	31
3.1.3 Distribución geográfica (nacional y estatal).....	33
3.1.4 Valor nutricional de la lenteja de agua .....	33
3.1.5 Cultivo: Reproducción y desarrollo.....	35
3.1.6 Toxicidad y compuestos antinutricionales .....	38
3.1.7 Sistemas análogos de producción de lenteja de agua para alimentación animal	
39	
3.1.8 Implementación de lenteja de agua en la nutrición de rumiantes. ....	41
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	44
III. JUSTIFICACIÓN.....	46
IV. OBJETIVOS.....	47
4.1 Objetivo general.....	47

4.2	Objetivos específicos .....	47
V.	METODOLOGÍA .....	48
5.1	Empatizar y comprender .....	48
5.2	Definir .....	49
5.3	Idear.....	50
5.4	Prototipar .....	51
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
6.1	Identificación de necesidades y desafíos en la alimentación y manejo de estiércol en ganadería bovina en el municipio de Amealco de Bonfil, Querétaro. ....	52
6.1.1	Encuestas a productores ganaderos locales.....	52
6.1.1.1	Densidad y diversidad de ganado bovino.....	52
6.1.1.2	Prácticas de alimentación en la región.....	54
6.1.1.3	Manejo y aprovechamiento del estiércol en la región .....	56
6.1.2	Análisis de una unidad de producción ganadera de bovinos.....	58
6.2	Revisión y análisis de la literatura .....	65
6.3	Desarrollo del modelo experimental <i>alfa</i> . ....	67
6.3.1	Recolección de materiales biológicos.....	67
6.3.2	Puesta en marcha del modelo experimental alfa.....	69
6.3.3	Evidencia fotográfica modelo alfa. ....	71
6.3.4	Análisis estadístico de datos, modelo experimental <i>alfa</i> .....	77
6.3.5	Hallazgos y conclusiones sobre modelo alfa .....	82
6.3.6	Desarrollo del modelo experimental <i>beta</i> .....	84
6.3.7	Monitoreo del crecimiento de la biomasa del modelo beta. ....	87
6.3.8	Registro fotográfico del desarrollo del modelo <i>beta</i> .....	90
6.3.9	Análisis estadístico .....	95
6.3.10	Resultados de valor nutricional, modelo beta.....	97

6.4	Diseño de modelo productivo de lenteja de agua ( <i>Lemna gibba</i> ) enfocado en ganado bovino de engorda. ....	101
6.4.1	<i>Focus group</i> con ganaderos.....	101
6.4.2	Modelo de producción de lenteja de agua: diseño, elementos, procesos y costos de inversión. ....	104
6.4.2.1	Infraestructuras .....	105
6.4.2.2	Condiciones ambientales requeridas.....	106
6.4.2.3	Fertilización y preparación de los estanques.....	106
6.4.2.4	Cosecha.....	108
6.4.2.5	Costos de inversión inicial.....	108
VII.	CONCLUSIONES GENERALES.....	110
VIII.	BIBLIOGRAFÍA.....	112
VIII.	ANEXOS .....	121
	ANEXO 1.....	121
	ANEXO 2.....	122
	ANEXO 3.....	123

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de ganado bovino según su función zootécnica en México.....	21
Figura 1. Regiones ganaderas, de acuerdo con sus condiciones climatológicas.....	22
Figura 3. Corrales de engorda.....	26
Figura 4. Requisitos para un crecimiento eficiente del ganado dentro de las fincas.....	27
Figura 5. Apariencia FÍSICA lenteja de agua ( <i>Lemna gibba</i> ) .....	31
Figura 6. Mapa de distribución y especies de la lenteja de agua en el Estado de Querétaro. ....	33
Figura 7. Modelo de producción de lenteja de agua a base de gallinaza.....	40
Figura 8. Modelo de producción “Grupo Campollo” en Guatemala.....	40
Figura 9. Producción de lenteja de agua, “Grupo Campollo” en Guatemala.....	41
Figura 10: Densidad y diversidad de razas de ganado en la región.....	53
Figura 11: Estrategias de alimentación para alimentar al ganado en la región.....	54
Figura 12. Dificultades percibidas relacionadas con la alimentación del ganado.....	55
Figura 13. Manejo y la frecuencia de limpieza del estiércol.....	57
Figura 14. Unidad de producción pecuaria “La Mora”.....	58
Figura 15. Dron alquilado para servicio de fumigación de parcela.....	59
Figura 16. Ganado bovino en corrales, “La Mora”.....	60
Figura 17. Producción de ensilaje de maíz.....	61
Figura 18. Producción de pacas de maíz.....	62
Figura 19. Modelo casero de maíz germinado implementado en “La Mora”.....	63
Figura 20. Lavado de grano de maíz. ....	63
Figura 21. Montículo de estiércol. ....	64
Figura 22. Punto de recolección de <i>Lemna gibba</i> en El Pueblito, Querétaro. ....	68
Figura 23. Estiércol molido y cernido.....	68
Figura 24. Área de experimentación. Modelo <i>alfa</i> .....	70
Figura 25. Registro de peso fresco de la biomasa, semana 4, tratamiento T1, replica C.....	71



Figura 26. Evolución de crecimiento de lenteja de agua en T1, modelo alfa.....	72
Figura 27. Evolución de crecimiento de lenteja de agua en T2, modelo <i>alfa</i> .....	73
Figura 28. Evolución de crecimiento de lenteja de agua en T3, modelo <i>alfa</i> ....	74
Figura 29. Evolución de crecimiento de lenteja de agua en T4, modelo <i>alfa</i> .....	75
Figura 30. Resultados del peso fresco semanal de los tratamientos experimentales, modelo <i>alfa</i> .....	76
Figura 31. Diferencia de las medias para semana 1. Modelo <i>alfa</i> .....	78
Figura 32. Diferencia de las medias para semana 2. Modelo <i>alfa</i> .....	79
Figura 33. Diferencia de las medias para semana 3. Modelo <i>alfa</i> .....	80
Figura 34. Diferencia de las medias para semana 4. Modelo <i>alfa</i> .....	82
Figura 35. Contraste de características físicas de <i>Lemna gibba</i> en T1 y T4, semana 4.....	83
Figura 36. Punto de recolección de <i>Lemna gibba</i> en el municipio de El Marqués, Qro.....	84
Figura 37. Recolección de muestra de <i>Lemna gibba</i> .....	85
Figura 38. Medidor digital comercial de pH.....	85
Figura 39. Área de experimentación. Modelo <i>beta</i> .....	86
Figura 40. Peso fresco semanal de la biomasa por tratamiento y sus replicas. Modelo <i>beta</i> .....	87
Figura 41. Comparación general del peso fresco de la biomasa obtenida en el modelo <i>beta</i> .....	88
Figura 42. Registro diario de pH en el agua para los tratamientos del modelo <i>beta</i> .....	89
Figura 43. Registro diario de temperatura en el agua para los tratamientos del modelo <i>beta</i> .....	90
Figura 44. Evolución de crecimiento de lenteja de agua en tratamiento A, modelo <i>beta</i> .	91
Figura 45. Evolución de crecimiento de lenteja de agua en tratamiento B, modelo <i>beta</i> .	92
Figura 46. Evolución de crecimiento de lenteja de agua en tratamiento C, modelo <i>beta</i> .	93
Figura 47. Evolución de crecimiento de lenteja de agua en tratamiento D, <i>modelo beta</i> .	94
Figura 48. Diferencia de las medias para “Semana 5”. Modelo <i>beta</i> .....	96
Figura 49. Focus group con ganaderos locales.....	102
Figura 50. Vista exterior del modelo de producción de lenteja de agua.....	105

Figura 51. Dimensiones y distribución de los estanques dentro del invernadero.....	106
Figura 52. Subdivisión dentro del estanque con mangueras plásticas.....	107

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diferencias principales entre los modelos extensivos e industriales de producción ganadera.....	16
Tabla 2: Sistema de producción de carne en México.....	23
Tabla 3. Cantidad de unidades de producción pecuaria y cabezas de ganado bovino para producción de carne en el estado de Querétaro en 2022.....	25
Tabla 4. Clasificación taxonómica de la lenteja de agua.....	32
Tabla 5. Géneros y especies de la lenteja de agua.....	32
Tabla 6. Composición química de diversas especies de lenteja de agua.....	34
Tabla 7. Producción de lenteja de agua en diversas condiciones de crecimiento.....	37
Tabla 8. Técnicas utilizadas en los análisis bromatológicos.....	51
Tabla 9. Producción de lenteja de agua bajo diferentes condiciones experimentales.....	65
Tabla 10. Tratamientos experimentales. Modelo <i>alfa</i> .....	69
Tabla 11. Análisis de Varianza (ANOVA) “Semana 1”. Modelo <i>alfa</i> .....	77
Tabla 12. Medias “Semana 1”. Modelo <i>alfa</i> .....	77
Tabla 13. Comparaciones en parejas de Tukey. “Semana 1”. Modelo <i>alfa</i> .....	77
Tabla 14. Análisis de Varianza (ANOVA) “Semana 2”. Modelo <i>alfa</i> .....	78
Tabla 15. Medias “Semana 2”. Modelo <i>alfa</i> .....	78
Tabla 16. Comparaciones en parejas de Tukey. “Semana 2”. Modelo <i>alfa</i> .....	79
Tabla 17. Análisis de Varianza (ANOVA) “Semana 3”. Modelo <i>alfa</i> .....	79
Tabla 18. Medias “Semana 3”. Modelo <i>alfa</i> .....	80
Tabla 19. Comparaciones en parejas de Tukey. “Semana 3”. Modelo <i>alfa</i> .....	80
Tabla 20. Análisis de Varianza (ANOVA) “Semana 4”. Modelo <i>alfa</i> .....	81
Tabla 21. Medias “Semana 5”. Modelo <i>alfa</i> .....	81
Tabla 22. Comparaciones en parejas de Tukey. “Semana 6”. Modelo <i>alfa</i> .....	81
Tabla 23. Tratamientos experimentales. Modelo <i>beta</i> .....	87
Tabla 24. Análisis de Varianza (ANOVA) “Semana 5”. Modelo <i>beta</i> .....	95
Tabla 25. Medias “Semana 5”. Modelo <i>beta</i> .....	95

Tabla 26. Comparaciones en parejas de Tukey. “Semana 5”. Modelo <i>beta</i> .....	96
Tabla 27. Análisis proximal de <i>Lemna gibba</i> . Resultados en materia seca (%). Modelo <i>beta</i> .....	98
Tabla 28. Análisis proximal de <i>Lemna gibba</i> . Resultados en materia húmeda (%). Modelo <i>beta</i> .....	98
Tabla 29. Comparación del contenido proteico de <i>Lemna gibba</i> con fuentes comunes en la alimentación de rumiantes.....	100
Tabla 30. Resultados de las encuestas realizadas a ganaderos locales el municipio de Amealco de Bonfil sobre el prototipo del modelo de producción de lenteja de agua.....	103
Tabla 31. Cotización del prototipo.....	109

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la viabilidad de la lenteja de agua (*Lemna gibba*) como una alternativa sostenible para la alimentación del ganado bovino en la región de Amealco de Bonfil, Querétaro, donde la ganadería bovina es una actividad predominante entre los pequeños productores. La alimentación del ganado en esta región se basa principalmente en forrajes y suplementos comerciales, sin embargo, la escasez de alimentos y el aumento de los costos de insumos generan preocupaciones entre los ganaderos. El estudio demuestra que *Lemna gibba*, cultivada con estiércol bovino como sustrato, presenta un contenido proteico competitivo con las fuentes tradicionales de alimento para bovinos, y un contenido de fibra importante, posicionándola como una alternativa para complementar la dieta de los rumiantes. Los resultados obtenidos indican que una concentración de 24 g/L de estiércol favorece el crecimiento de la planta, alcanzando un contenido proteico de hasta 20.4 %. Esta alternativa se presenta como una solución viable para mejorar la alimentación del ganado, especialmente en contextos donde las fuentes tradicionales de proteína son limitadas. A pesar de los desafíos relacionados con la viabilidad económica inicial y la necesidad de capacitación técnica, los hallazgos sugieren que el cultivo de *Lemna gibba* podría integrarse eficazmente en los sistemas productivos de pequeños ganaderos. Se recomienda la implementación de estrategias de financiamiento y programas de capacitación para facilitar su adopción, así como la realización de investigaciones adicionales para evaluar el desempeño del sistema en condiciones de campo y asegurar su viabilidad a largo plazo.

**Palabras clave:** *Ganadería bovina, lemna gibba, estiércol, prototipo, cultivo*

## ABSTRACT

This research aims to evaluate the viability of water lentil (**Lemna gibba**) as a sustainable alternative for livestock feed in the region of Amealco de Bonfil, Querétaro, where cattle farming is a predominant activity among small-scale producers. Livestock feeding in this region primarily relies on forages and commercial supplements; however, food scarcity and rising input costs have raised concerns among farmers. The study demonstrates that *Lemna gibba*, cultivated with bovine manure as a substrate, has a protein content competitive with traditional cattle feed sources, positioning it as an alternative to complement the ruminants' diet. The results indicate that a concentration of 24 g/L of manure promotes plant growth, achieving a protein content of 20.40%. This alternative presents a viable solution for improving livestock feeding, especially in contexts where traditional protein sources are limited. Despite challenges related to initial economic feasibility and the need for technical training, the findings suggest that *Lemna gibba* cultivation could be effectively integrated into small-scale farmers' production systems. The implementation of financing strategies and training programs is recommended to facilitate its adoption, as well as further research to assess the system's performance under field conditions and ensure its long-term viability.

**Keywords:** *Bovine livestock, Lemna gibba, manure, prototype, cultivation.*

## INTRODUCCIÓN

En el contexto mundial, la ganadería bovina representa una actividad económica y socialmente relevante, contribuyendo significativamente a la producción de alimentos de origen animal y al sustento de millones de personas. En México, esta actividad tiene una larga tradición y es una fuente importante de ingresos para muchas familias rurales, siendo el país uno de los principales productores y exportadores de carne de bovino a nivel mundial.

A nivel estatal, dicha problemática se ve reflejada en los datos de la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA), en donde se muestra que, en el estado de Querétaro, el 71.8% de las unidades de producción pecuarias reportaron los altos costos de insumos y servicios como su principal problemática, y sólo el 64.9% proporcionan alimento no balanceado (INEGI, 2019).

Por otra parte, el cultivo de la lenteja de agua se perfila como una alternativa prometedora en la alimentación animal, gracias a su crecimiento rápido y su elevado contenido proteico. Esta pequeña planta acuática, perteneciente a la familia de las Lemnaceae, ha capturado el interés en la búsqueda de soluciones sostenibles para alimentar a diversas especies como gallinas, tilapias, cerdos y bovinos. Además, el cultivo de lenteja de agua ofrece una forma eficaz de reutilizar el estiércol bovino como sustrato, aprovechando su riqueza en nutrientes esenciales para el desarrollo vegetal.

Según López (2018), la *Lemna gibba* ha sido utilizada como suplemento alimenticio para el ganado bovino, demostrando un incremento en la producción de leche y una mejora en la condición corporal de los animales. La *Lemna gibba* es una planta acuática que se reproduce de forma rápida y eficiente, formando densas colonias en la superficie del agua. Se adapta a una amplia gama de condiciones ambientales, incluyendo aguas con niveles variables de nutrientes y luz solar.

El objetivo principal de este estudio es desarrollar un modelo productivo de lenteja de agua que permita aprovechar de manera eficiente el estiércol bovino como sustrato, con el fin de otorgar una alternativa de alimentación a los productores ganaderos y a su vez, reducir la contaminación ambiental asociada con la práctica ganadera intensiva.

## I. ANTECEDENTES

### 1.1 Actividad ganadera

La ganadería, considerada una de las actividades económicas más antiguas en la historia de la humanidad, surgió durante el periodo neolítico mediante el desarrollo de métodos de captura, domesticación y cría de animales. Esta actividad se estableció como una fuente confiable de alimentos, lo que provocó cambios significativos en la forma de vida de las personas nómadas al impulsar la formación de asentamientos y comunidades. Además de su función alimentaria, la ganadería se define como la actividad económica primaria que abarca el cuidado, alimentación y reproducción de animales con el propósito de obtener productos destinados al consumo humano. A lo largo del tiempo, la ganadería no solo se convirtió en una fuente vital de alimentos, sino que también permitió al ser humano aprovechar a los animales para llevar a cabo tareas de arado y transporte de carga. ([Riojas et al., 2018](#)).

De acuerdo con [Riojas](#) et al. (2018) en la actividad ganadera se pueden criar diferentes animales, por ejemplo, como toros, vacas y becerros (ganado bovino o vacuno), las ovejas (ganado ovino), las cabras (ganado caprino), los cerdos (ganado porcino), los caballos y los asnos (ganado equino), así como los camellos, dromedarios y llamas (ganado de camélidos). Además, existen otros tipos de ganadería que se centran en animales de menor tamaño, como la apicultura (abejas), la cunicultura (conejos) y la avicultura (gallinas, patos), entre otros.

Desde una perspectiva geográfica, es relevante resaltar que la ganadería es la actividad que utiliza la mayor cantidad de superficie terrestre, cubriendo más de 3,900 millones de hectáreas. Esta cifra representa aproximadamente el 30% de la superficie terrestre sin incluir áreas congeladas ([Riojas et al., 2018](#)). Dentro de esta extensión, alrededor del 25% corresponde a tierras destinadas al pastoreo de animales, mientras que el 5% está dedicado a cultivos específicos para la producción de alimentos para el ganado, lo cual representa cerca de un tercio de las tierras de cultivo a nivel mundial.

En conjunto, esta extensión territorial abarca casi el 80% de las tierras utilizadas para actividades agrarias y requiere aproximadamente el 8% del consumo global de agua. Este recurso se utiliza principalmente para el riego de los cultivos destinados a la



alimentación animal. Estas cifras destacan la relevancia y la dimensión de la ganadería como actividad productiva y su impacto en la utilización de recursos naturales ([Teixeira et al., 2018](#)).

El sector ganadero consume anualmente 6,000 millones de toneladas de alimentos, incluyendo forrajes, granos y piensos. Representa aproximadamente un tercio de la producción mundial de cereales. El 86% de la alimentación animal proviene de materiales no consumidos por los seres humanos. Por otra parte, la soja representa el 4% de la ingesta animal a nivel global y los rumiantes obtienen más del 57% de su alimentación de forrajes y vegetación ([Riojas et al., 2018](#)).

Según [Teixeira \(2018\)](#) se estima que, a nivel mundial, el número actual de cabezas de ganado es de aproximadamente 1,430 mil millones de bovinos. Principalmente, se pueden identificar dos modelos predominantes en la producción ganadera, los cuales presentan diferencias significativas entre ellos. La Tabla 1 muestra algunas de estas diferencias clave para su distinción.

**Tabla 2.** Diferencias principales entre los modelos extensivos e industriales de producción ganadera.

<b>Modelo</b>	<b>Ganadería extensiva (basada en tierras no aptas para cultivos).</b>	<b>Ganadería intensiva (basada en tierras aptas para cultivos).</b>
Alimentación	Recursos locales de base territorial (pastos, dehesas, matorrales, bosques, barbechos, rastrojos).	Alimentos preparados adquiridos en el mercado (piensos, cereales, etc.).
Obtención del alimento	Pastoreo.	Proporcionada por las personas a cargo de la instalación.
Movilidad	Los animales pueden moverse libremente por los recintos asignados.	Movilidad restringida.
Insumos externos	Bajo nivel de insumos externos.	Nivel elevado de insumos externos (energía, alimentos, aditivos, medicamentos, maquinaria, etc.).
Flujos energéticos y materiales	Flujos integrados con los ecosistemas locales.	Flujos independientes de los ecosistemas locales.
Alojamiento	Vida en el exterior, a veces alojamiento facultativo cuando las condiciones externas lo aconsejan.	Estabulados, viven en instalaciones con las condiciones controladas (aireación, calefacción, etc.).
Servicios ecosistémicos	Proporcionan servicios ecosistémicos variados: mantenimiento de hábitats, secuestro de carbono, conservación de la biodiversidad.	No proporcionan servicios ecosistémicos relevantes.

Fuente. ([Herrera, 2020](#)).

En América Latina los sistemas de producción de carne y leche bovina presentan tendencias de cambio de tradicionales a intensivos, atribuidas al aumento de la demanda de productos de origen animal ([Parra et al, 2019](#)).

### **1.1.1 Impacto ambiental de la ganadería**

Algunos grupos ecologistas aseguran que la industria pecuaria contribuye al calentamiento global debido a la emisión de contaminantes que se liberan al suelo, agua y atmósfera ([Pinos et al., 2012](#)).

En la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Ernest Feder fue uno de los pioneros en promover el análisis de los efectos económicos, sociales y ambientales de la expansión de la cría de ganado en México desde sus inicios. Durante los años sesenta. Feder advirtió sobre los impactos destructivos de la expansión ganadera de bovinos en las selvas húmedas y subhúmedas de Kenia, Filipinas y Brasil ([Pérez, 2008](#)).

A su vez, diversos organismos e instituciones gubernamentales han investigado el impacto ambiental de la ganadería, así como la Coordinación General de Ganadería de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (CGG-SADER), la cual menciona que el 61% de las tierras utilizadas para la ganadería en nuestro país reportan niveles de erosión que van desde moderados hasta extremos. Adicionalmente, se estima que el 47% de los pastizales nativos en áreas áridas y semiáridas han desaparecido o se encuentran fragmentados ([IICA, 2020](#)).

Del mismo modo, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), expone que el sector agropecuario en nuestro país generó alrededor del 12.3% de las emisiones de gases de efecto invernadero en 2010. Específicamente, la ganadería genera grandes cantidades de nitrógeno, lo que contribuye significativamente a las emisiones de amoníaco y óxido nitroso en las unidades de producción bovina. Estas emisiones son resultado de la alimentación de los animales y las prácticas vinculadas al manejo del estiércol ([Barrera, 2017](#); [Herrero y Gil, 2008](#)).

A través de la herramienta de Análisis de Ciclo de Vida (ACV), se estima para producir un kilogramo de carne en México se emiten alrededor de 20.60 kg. de CO<sub>2</sub> en un

sistema de producción intensivo y 21.73 kg. de CO<sub>2</sub> en un sistema de producción extensivo ([IICA, 2020](#)).

De acuerdo con [Pinos et al. \(2012\)](#), los componentes inorgánicos de importancia ambiental que se encuentran en las excretas son el nitrógeno (N) y el fósforo (P). Estos elementos son relevantes debido a que su acumulación excesiva puede ocasionar impactos negativos en la calidad del suelo e incidir en la calidad de otros recursos, como el agua y el aire, tal como mencionan [Herrero y Gil \(2008\)](#).

En México y otros países latinoamericanos como Argentina, Chile y Colombia, existe una falta de regulación y supervisión gubernamental orientada al uso y manejo de excretas animales. Las normativas existentes se centran principalmente en regular las descargas de contaminantes al agua, sin prestar suficiente atención a las emisiones al suelo y a la atmósfera relacionadas con las excretas de ganado ([Pinos, 2012](#)).

Por último, de acuerdo con la FAO, la intensificación de la actividad ganadera debe ajustarse al aumento proyectado en la demanda de alimentos para 2050. Si este proceso no se reorienta hacia principios sostenibles, seguirá causando daños al medio ambiente ([Parra et al, 2019](#)).

### **1.1.2 Ganadería sustentable**

El concepto de desarrollo sustentable o desarrollo sostenible, que se introdujo por primera vez en el Informe Brundtland en 1987, se refiere a la idea de satisfacer las necesidades presentes sin poner en riesgo la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades. Implica un enfoque equilibrado que considera aspectos económicos, sociales y ambientales para garantizar un futuro sostenible y preservar los recursos naturales ([Riojas et al., 2018](#)).

Después de la firma del Protocolo de Kioto y con el auge de los bonos de carbono, en México se comenzó a promover el uso de reactores anaerobios o biodigestores en unidades de producción de bovinos y porcinos ([FIRCO-SAGARPA, 2011](#)). Estos dispositivos son eficientes para reducir las emisiones en las unidades de producción. Sin embargo, a pesar de sus beneficios, su adopción no ha sido completa en el país ([ICCA, 2020](#)). Esta situación se atribuye, en parte, a experiencias negativas en las

unidades de producción y se han identificado problemas en la planificación, diseño y mantenimiento de los reactores anaerobios ([FIRCO-SAGARPA, 2011](#)), según los diagnósticos realizados.

En el año 2006, la FAO publicó un estudio titulado "*La larga sombra del ganado, problemas ambientales y opciones*", el cual proporcionó una visión integral a nivel global sobre el impacto medioambiental de la ganadería, revelando que dicho impacto era mucho mayor de lo que se pensaba anteriormente. El estudio destacó que la ganadería tiene una influencia significativa en problemas ambientales como la deforestación, la pérdida de biodiversidad, la contaminación del agua y del aire, y la emisión de gases de efecto invernadero. Esta investigación marcó un hito importante al resaltar la necesidad de abordar de manera efectiva los impactos ambientales relacionados con la ganadería en todo el mundo ([Riojas et al. 2018](#)).

El enfoque propuesto por Samuel Jutzi, director de la División de Producción y Salud Animal de la FAO, va más allá de simplemente culpar al rápido crecimiento e intensificación de la ganadería por los daños ambientales. En cambio, aboga por la promoción de medidas radicales, tanto a nivel técnico como político, para mitigar estos impactos negativos en el medio ambiente ([Pérez, 2018](#)).

En México, se ha observado un creciente impulso hacia la ganadería sustentable de bovinos, con el objetivo de mejorar la productividad, rentabilidad y competitividad del sector ganadero. Esta iniciativa busca contribuir tanto a las metas establecidas en las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (CND) de México, que buscan reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en un 22% para 2030, con un objetivo específico de reducción del 8% para el sector ganadero, como a los Objetivos de Desarrollo Sostenible ([IICA, 2020](#)).

El programa sectorial de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) establece que las acciones implementadas en colaboración con otros sectores hasta 2024 deben reducir hasta un 12% las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) provenientes de la quema de combustibles fósiles, en línea con los compromisos de las CND para 2030. En este contexto, el sector ambiental se compromete a desarrollar una estrategia para cumplir con las metas de mitigación y adaptación establecidas en el Acuerdo de París ([IICA, 2020](#)).

### 1.1.3 Ganadería bovina de carne en México

En México, se destinan alrededor de 110 millones de hectáreas a la ganadería, lo que equivale aproximadamente al 60% de su territorio. Este espacio abarca más de un millón de ranchos, corrales de engorda, empresas integrales y otras unidades económicas orientadas principalmente a la producción de ganado bovino. Este sector ha sido clave para el desarrollo del país, ya que aporta alimentos, materias primas, divisas, empleos y favorece la distribución de ingresos en las áreas rurales ([Hernández et al., 2016](#)).

La ganadería bovina ocupa el segundo lugar como actividad económica en zonas rurales, después de la agricultura. En 2012, esta industria empleó a 738,567 personas y representó el 29% del PIB dentro del sector primario, equivalente al 3.4% del total. A su vez, alrededor del 81% de los sistemas agropecuarios están compuestos por pequeñas unidades de producción, las cuales presentan gran variabilidad en aspectos como el tamaño del rebaño, la situación socioeconómica, el propósito de la producción y el nivel de tecnología aplicado ([Rodríguez et al., 2018](#)).

Las principales actividades ganaderas incluyen la producción de novillos para consumo, la cría de becerros para exportación y la producción de reproductores. Esta diversidad provoca que la práctica de la ganadería no siga un patrón uniforme, por lo cual, no es posible identificar regiones con una producción ganadera homogénea ([Carrera et al., 2014](#)).

Según el informe del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura ([IICA](#)) publicado en 2020, en el año 2019, México logró una producción de 21.7 millones de toneladas de productos pecuarios, posicionándose en el séptimo lugar a nivel mundial en la producción de proteína animal. Además, en el año 2018 ocupó el sexto lugar en la producción de carne de bovino a nivel global.

La producción de carne bovina comienza con la crianza del ganado y concluye con la engorda de las vaquillas o becerros destinados al mercado. Posteriormente, se realiza el proceso de transformación, que incluye el sacrificio para obtener la carne en canal. Se estima que aproximadamente el 35% de la carne de res producida en México proviene de corrales de engorda ([Hernández et al., 2016](#)).

De acuerdo con los datos del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica ([INEGI](#)), presentados dentro de la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA), en 2019, en México se registraron un total de 34,037,141 cabezas de ganado. Asimismo, se identificaron 1,097,930 unidades de producción dedicadas a la cría y explotación de ganado bovino, en donde, según la función zootécnica, el 11.5% de estas unidades se enfoca en la ganadería de engorda (Figura 1).

De acuerdo con la Figura 2, México se clasifica en tres regiones ganaderas que se distinguen por sus condiciones climáticas y sistemas de producción. Estas regiones son la zona árida y semiárida, la zona templada, y la zona tropical seca y húmeda ([Carrera et al., 2014](#)).

**Figura 1.** Clasificación de ganado bovino según su función zootécnica en México.



Fuente: [INEGI, 2019](#).

Carrera y sus colaboradores ([2014](#)) identifican dos sistemas fundamentales de explotación de bovinos para carne en México: el sistema intensivo, que se centra en la engorda del ganado en corrales, y el sistema extensivo, que utiliza praderas y agostaderos para la alimentación del ganado. En México la ganadería extensiva prevalece como el sistema predominante, abarcando el 56% del territorio nacional. Este enfoque se basa en el uso directo de pastizales para el pastoreo del ganado y desempeña un papel fundamental en la producción de alimentos de origen animal, así como en la configuración de las áreas rurales y paisajes ([IICA, 2020](#)). Sin embargo, los rumiantes criados en pasturas tropicales contribuyen con la mayor

cantidad de emisiones de metano entérico debido a la menor calidad del alimento y al mayor tiempo que tardan estos animales en alcanzar el peso de sacrificio. Las pasturas tropicales tienden a tener un bajo contenido de proteína cruda (PC) y un alto contenido de fibra, características que no solo afectan negativamente la ingesta y digestibilidad de materia seca (MS), sino que también contribuyen a la producción de metano en el rumen ([Tirado-Estrada et al., 2018](#)).

**Figura 2.** Regiones ganaderas, de acuerdo con sus condiciones climatológicas



Fuente: Elaboración propia basado en [Carrera et al., 2014](#).

Martínez-González et al. (2017) señalan que en México se han caracterizado cinco grandes sistemas de producción de carne bovina, los cuales se describen detalladamente en la Tabla 2.

**Tabla 2:** Sistema de producción de carne en México

<b>Sistema</b>	<b>Descripción</b>
Sistema vaca-becerro	Este sistema se enfoca en la producción de becerros destinados a la venta en el momento del destete, con un mercado principal en la exportación hacia Estados Unidos.
Sistema de recría en pastoreo	Este enfoque puede incluir una etapa relativamente breve, en la que los animales son criados durante un período de 6 a 12 meses antes de ser trasladados a los corrales de engorda.
Sistema de engorda en corral	Este sistema se centra en el desarrollo y finalización de novillos o toros en corrales. Generalmente, los sistemas de confinamiento son tecnificados y costosos, caracterizándose por el uso de alimentos concentrados y subproductos agroindustriales.
Sistema doble propósito	Este sistema abarca dos aspectos fundamentales en el ingreso de los productores, ya que permite la comercialización tanto del ganado como de la leche.
Sistema de pie de cría	Este sistema se centra en la reproducción y cría de ganado para obtener animales jóvenes que servirán como futuras generaciones de producción, buscan mejorar la genética del ganado y asegurar un suministro constante de animales para engorde o para otros fines productivos.

*Elaboración propia basada en [Martínez-Gonzales et al., 2017](#).*

Se ha observado una tendencia en aumento relacionada a la finalización de la engorda en corrales, sin embargo, este enfoque se lleva a cabo de manera limitada debido a los costos elevados de alimentación. A pesar de esto, se ha observado un incremento en la productividad media, indicando un avance en los sistemas intensivos en los últimos años ([IICA, 2020](#)).

Finalmente, los ganaderos en México enfrentan un acceso limitado a la información, lo que restringe su capacidad para generar, implementar o solicitar innovaciones tecnológicas que podrían hacerlos más eficientes, dinámicos y emprendedores. Por



lo tanto, la formación y capacitación de los productores son elementos fundamentales para impulsar el desarrollo del sector pecuario ([Sánchez et al., 2022](#)).

#### **1.1.4 Ganadería bovina de carne en Querétaro.**

La cría de ganado bovino se ha consolidado como un pilar económico fundamental, lo que pone de manifiesto su relevancia en el desarrollo agropecuario de la entidad. Ubicado en la zona templada del país, el Estado de Querétaro se distingue por la presencia de animales cruzados con razas europeas. La genética del ganado en esta región es el resultado de una combinación de razas criollas, cebuinas y europeas, destacándose especialmente las razas *Suizo Pardo*, *Angus* y *Beefmaster* ([Carrera et al., 2014](#)).

La Tabla 3, presenta el volumen de unidades de producción pecuaria (UPP) dedicadas a la ganadería bovina y la distribución de cabezas de ganado en cada municipio del estado de Querétaro. Las UPP representan los espacios donde se cría ganado, mientras que el número de cabezas refleja la cantidad de animales en cada localidad. Este análisis pone en relieve la importancia económica de la ganadería bovina en el estado. Los datos, proporcionados por la Secretaría de Desarrollo Agropecuario del Estado de Querétaro (SEDEA) en su informe cuatrimestral de 2022 y basados en información del Sistema Nacional de Identificación Individual de Ganado (SINIIGA), muestran que Amealco de Bonfil encabeza en cantidad de UPP, con 1,421 unidades y un total de 18,624 cabezas de ganado. Si bien este número de cabezas es significativo, es menor en comparación con municipios como Colón y El Marqués, que registran 45,083 y 45,543 cabezas, respectivamente. Es notable que, aunque Amealco posee el mayor número de UPP, no tiene la mayor cantidad de cabezas de ganado, mientras que El Marqués, con un número inferior de UPP (853), supera a Amealco en cabezas de ganado. Esto resalta una diferencia importante en términos de productividad, ya que El Marqués logra una mayor densidad de ganado por unidad de producción. En términos generales, la tabla reporta un total de 10,589 UPP y 299,633 cabezas de ganado en el estado, lo cual sugiere una distribución diversa del ganado en los municipios y evidencia variaciones en las prácticas de manejo. En el caso específico de Amealco, contar con muchas UPP y un número moderado de ganado sugiere un enfoque de manejo distinto al de municipios con mayor

concentración de ganado por unidad de producción, lo que refleja posibles diferencias en eficiencia y estrategias de producción.

**Tabla 3.** Cantidad de unidades de producción pecuaria y cabezas de ganado bovino para producción de carne en el estado de Querétaro en 2022.

<b>Municipio</b>	<b>UPP</b>	<b>No. De cabezas</b>
Amealco de Bonfil	1,421	18,624
Colón	1027	45,083
Jalpan de Serra	877	18,604
El Marqués	853	45,543
Arroyo Seco	839	13,699
Cadereyta de Montes	799	11,932
Landa de Matamoros	795	14,306
San Juan del Río	786	22,816
Pinal de Amoles	544	6,589
Tolimán	500	13,013
Peñamiller	429	8,037
Ezequiel Montes	395	21,119
Tequisquiapan	385	17,216
Huimilpan	282	7,877
Pedro Escobedo	217	23,065
Santiago de Querétaro	192	7,174
San Joaquín	181	2,515
Corregidora	87	2,430
<b>Totales</b>	<b>10,589</b>	<b>299,633</b>

*Fuente: Elaboración propia basado en SEDEA, 2022.*

Según el estudio realizado por [Carrera et al. \(2014\)](#), la mayoría de las explotaciones ganaderas en el Estado de Querétaro son de tipo extensivo, lo que significa que se basan principalmente en el pastoreo durante la temporada de lluvias. Durante el resto del año, se complementa la alimentación del ganado con dietas que incluyen esquilmos agrícolas, es decir, subproductos derivados de las actividades agrícolas. Estos subproductos pueden ser residuos de hojas y tallos que quedan en el campo después de la cosecha de granos o semillas ([Borja et al., 2016](#)).

En cuanto a la engorda de corral en el Estado de Querétaro, se observa que, aunque existen explotaciones con buena tecnificación, predominan las explotaciones a baja escala, incluyendo aquellas de tipo familiar. En estos sistemas de producción, se emplean sistemas de alimentación con productos de baja calidad nutricional, lo que

ocasiona que los bovinos requieran un mayor período de finalización. En términos de mercado, la comercialización de los productos pecuarios se orienta principalmente hacia el consumo local en la región ([Carrera et al., 2014](#)).

### 2.1 Sistema de engorda en corral

El corral de engorda (Figura 3) es un sistema de producción intensiva que requiere alejar al ganado de su ambiente natural, lo cual genera modificaciones en su comportamiento. En este modelo, las raciones se preparan siguiendo el método de “ración totalmente mezclada”, prestando especial atención tanto a la “eficiencia de mezclado” como a la administración precisa de los alimentos. Asimismo, se destaca la importancia de la calidad y eficacia en la distribución de la ración con el fin de optimizar los recursos disponibles. Se incorporan además vacunas y desparasitantes para garantizar la salud y el bienestar de los animales, elementos fundamentales para maximizar la productividad y rentabilidad de este sistema ([Salcedo-Meza et al., 2018](#)).

**Figura 3.** Corrales de engorda



Fuente: [Pérez-Gutiérrez, 2017](#).

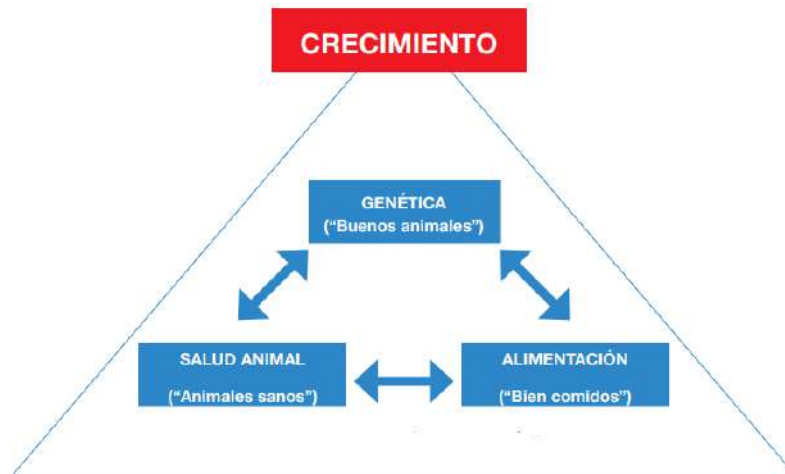
El engorde de ganado bovino se enfoca en generar la máxima cantidad de carne por unidad de superficie en el menor tiempo posible. Esto significa que cada animal debe

aumentar de peso de manera rápida, al mismo tiempo que se busca optimizar el uso del terreno incrementando la carga animal ([Pérez-Gutiérrez, 2017](#))

### 2.1.1 Prácticas de manejo para el crecimiento del ganado dentro de las fincas

Según Pérez-Gutiérrez ([2017](#)), para que los animales de engorde alcancen un desarrollo óptimo, es fundamental contar con ejemplares de buena calidad genética, que estén sanos y tengan acceso a una alimentación adecuada. La combinación de estos factores garantiza un crecimiento eficiente y maximiza el potencial productivo del ganado. Estos requisitos se describen en la Figura 4. Además, la toma de decisiones en la selección de los animales, en la prevención y control de los retos sanitarios, así como en la producción y compra de los alimentos requeridos, es lo que se conoce como el manejo de la finca.

**Figura 4.** Requisitos para un crecimiento eficiente del ganado dentro de las fincas



Fuente: [Pérez-Gutiérrez, 2017](#).

### 2.1.2 La alimentación en las unidades de producción pecuaria

La alimentación es un aspecto fundamental para el desarrollo de cualquier ser vivo, ya que permite llevar a cabo las funciones biológicas esenciales de cada especie. En el caso del ganado bovino en las fincas de engorde, la alimentación adquiere una importancia aún mayor, pues los animales requieren una variedad de nutrientes esenciales para su mantenimiento, crecimiento y rendimiento físico. Estos nutrientes

son cruciales para alcanzar una producción anual óptima de carne, y entre los más relevantes se encuentran el agua, las proteínas, las fuentes energéticas (principalmente los carbohidratos estructurales como la celulosa y hemicelulosa provenientes de las plantas), y los minerales necesarios para su adecuado desarrollo ([Pérez-Gutiérrez, 2017](#)).

En los sistemas de engorda confinada, la alimentación del ganado se vuelve un factor determinante en los costos de producción, que representan entre el 75 % y el 80 % del total. Este tipo de alimentación incluye granos forrajeros, concentrados, suplementos, sales minerales y forrajes, constituyendo un gasto significativo para los ganaderos. Dado que la alimentación influye directamente en la rentabilidad del proceso, la eficiencia en su manejo es esencial para garantizar una oferta constante de carne ([Castro et al., 2019](#)).

En México, de acuerdo con la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) 2019, el 47.8% de los productores utiliza rastrojos como base alimentaria para su ganado ([INEGI, 2019](#)). Los rastrojos, también conocidos como esquilmos, son los residuos vegetales generados tras la cosecha de granos o semillas, y se componen principalmente de cultivos como maíz, sorgo, trigo y cebada. Estos subproductos agrícolas se presentan como una alternativa de forraje que puede aprovecharse en la alimentación del ganado, especialmente cuando la producción de forraje es insuficiente. Además, la disponibilidad de estos residuos aumenta conforme crece la producción agrícola destinada a satisfacer la demanda alimentaria ([Borja et al., 2016](#)).

Sin embargo, la disponibilidad de forraje presenta fluctuaciones, especialmente durante el periodo seco del año, cuando su producción disminuye significativamente. Esta escasez de forraje afecta negativamente al desempeño del ganado, lo que se traduce en un aumento en la edad de sacrificio, reducción de la calidad de las canales y, finalmente, en una menor rentabilidad de la explotación ganadera. Para mitigar este problema y mantener la productividad, los ganaderos recurren a suplementos alimenticios. Estos suplementos permiten corregir desequilibrios en la dieta, mejorar la eficiencia del uso de los pastos y aumentar la capacidad de soporte, lo que optimiza el rendimiento animal y disminuye los ciclos reproductivos, de crecimiento y de terminación ([Estrada et al., 2019](#)).

No obstante, los suplementos tienen un alto costo económico, lo que obliga a los productores a buscar opciones más asequibles, como el henolaje y el ensilaje, que se presentan como alternativas viables para suplir la falta de forraje. Estas técnicas de conservación del forraje permiten mantener las propiedades nutritivas del pasto mediante procesos como la fermentación láctica, lo que facilita su almacenamiento y utilización durante los periodos secos. En cuanto al consumo diario de alimentación, se determinó que el ganado en producción consume entre 16 a 18 kg/día de ensilaje y entre 9 a 14 kg/día de henolaje, lo que evidencia la importancia de estas alternativas durante los periodos de escasez de forraje. Aunque algunos ganaderos fabrican su propio henolaje, la mayoría depende de la compra de estos productos, ya que carecen de la maquinaria y la superficie necesarias para producirlos de manera propia ([Ríos, 2022](#)).

Por otra parte, aunque el uso de rastrojos representa una solución accesible y eficiente para la alimentación animal al aprovechar los residuos agrícolas, es esencial también considerar el impacto ambiental y los costos de otros tipos de alimentación, como los cereales y concentrados. Estos últimos, aunque nutritivos para los rumiantes, tienen precios elevados y su demanda compite directamente con el consumo humano, afectando la seguridad alimentaria en países con menos recursos. Además, la producción intensiva de cereales implica actividades como la deforestación y el uso de fertilizantes, que contribuyen significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero ([Tirado-Estrado et al., 2018](#)).

En Querétaro, el sector agropecuario enfrenta desafíos adicionales, ya que el 71.8% de las unidades de producción identifican los altos costos de insumos y servicios como su principal problemática. Además, el 64.9% de estas unidades proporcionan alimentos no balanceados, lo que complica aún más el manejo nutricional del ganado ([INEGI, 2019](#)). Según Borja y sus colaboradores ([2016](#)), la cadena productiva de los esquilmos agrícolas en la región del Bajío presenta varias deficiencias que limitan la competitividad de los productores. Entre ellas, se encuentran la falta de maquinaria adecuada para el corte y empaquetado de los esquilmos, lo que dificulta la recolección y procesamiento eficientes. Además, la escasa organización y participación de los productores en los eslabones de comercialización impide una integración efectiva de

la cadena, especialmente en el eslabón primario, lo que genera una desarticulación que limita el acceso de los productores a los beneficios del mercado. La escasa generación de valor agregado en la comercialización de los esquilmos también afecta las ganancias de los productores, quienes obtienen márgenes bajos por la venta de estos subproductos agrícolas, mientras que los eslabones de acopio y distribución son los más beneficiados, lo que evidencia una distribución desigual de los beneficios dentro de la cadena productiva.

Según Tirado y Estrada (2018), una alternativa más sostenible en la alimentación de rumiantes consiste en utilizar suplementos no convencionales. Estos suplementos, definidos como alimentos alternativos que mejoran la dieta de los animales de manera económica y sostenible, especialmente en sistemas de producción ganadera, se diferencian de los convencionales como cereales y concentrados, ya que suelen estar compuestos por productos no tradicionalmente destinados a la alimentación animal. No solo incrementan el valor nutritivo de las dietas básicas de los rumiantes, sino que también son accesibles y de bajo costo, optimizando así la eficiencia productiva del ganado. Además, favorecen la digestión ruminal, incrementan la producción de leche y el aumento de peso diario, y disminuyen las emisiones de metano entérico, ayudando a enfrentar los retos de sostenibilidad y alimentación en la producción ganadera.

### **3.1 Lenteja de agua (*Lemnaceae*)**

#### **3.1.1 Características generales**

La lenteja de agua es una planta acuática que pertenece al grupo de las macrófitas o plantas superiores y que se encuentra en diversas áreas de los ecosistemas acuáticos. Es común encontrar esta planta flotante en lagunas y en áreas de flujo lento, como ríos y quebradas. También conocida regionalmente como *lemna*, lenteja de agua, lentejilla, derivado del término griego *limne*, que significa *estanque*. Este grupo se caracteriza por su color verde brillante y por ser las plantas más pequeñas del mundo (Izazola, 2021).

En general, presentan un cuerpo simple (Figura 5) con pocas o ninguna raíz y frondas pequeñas en forma de hoja (Uyen et al., 2022). La lenteja de agua es una de las especies de angiospermas más pequeñas que existen en el reino vegetal, ya que

tiene un tamaño reducido de aproximadamente 2 a 4 mm de longitud y 2 mm de ancho ([Arroyave, 2004](#)).

**Figura 5.** Apariencia lenteja de agua (*Lemna gibba*)



*Fuente: Guzmán (2024).*

### 3.1.2 Taxonomía

El género *Lemna* fue inicialmente descrito por Carlos Linneo en 1753 en su obra *Species Plantarum*, donde las consideró parte de la familia *Araceae*. Sin embargo, posteriormente, el botánico inglés William Griffith actualizó esta clasificación en 1851 y las clasificó como una familia separada, las *Lemnaceae* (Tabla 4) ([Tache, 2020](#)).



**Tabla 4.** Clasificación taxonómica de la lenteja de agua.

<b>Categoría</b>	<b>Descripción</b>
Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Fanerógama Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Liliopsida</i>
Orden	<i>Alismatales</i>
Familia	<i>Araceae</i>
Subfamilia	<i>Lemnoideae</i>
Tribu	<i>Lemneae</i>
Género	<i>Lemna</i>

Fuente: Elaboración propia basado en [Tache, 2020](#).

De acuerdo con [Arroyave](#) (2004), la lenteja de agua es una planta ampliamente distribuida a nivel mundial. De acuerdo con [Zhao \(2014\)](#) se han identificado cinco géneros de lenteja de agua, incluidas 37 especies (Tabla 5).

**Tabla 5.** Géneros y especies de la lenteja de agua.

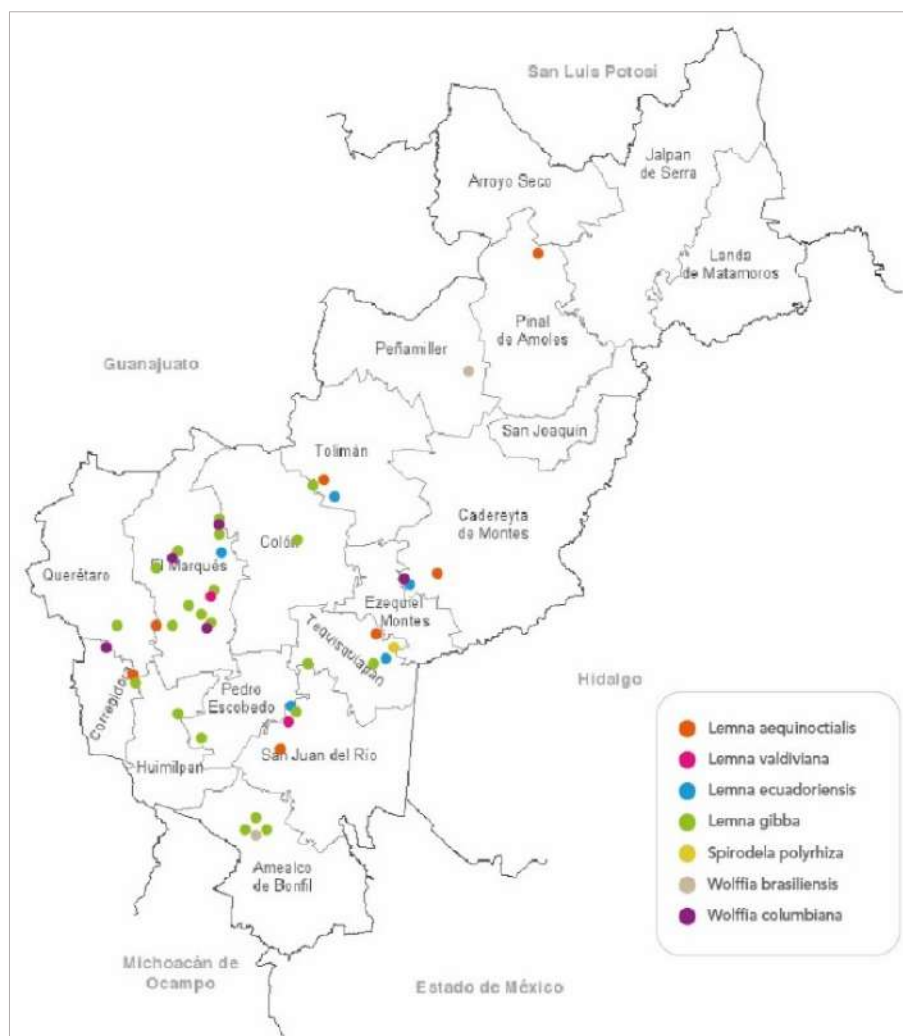
<b>Género</b>	<b><i>Lemna</i></b>	<b><i>Wolffia</i></b>	<b><i>Wolffiella</i></b>	<b><i>Spirodela</i></b>	<b><i>Landoltia</i></b>
<b>Especies</b>	<i>L. ecuadoriensis</i>	<i>W. arrhiza</i>	<i>W. lingulata</i>	<i>S. polyrhiza</i>	<i>L. punctata</i>
	<i>L. turionifera</i>	<i>W. cylindracea</i>	<i>W. oblonga</i>	<i>S. intermedia</i>	
	<i>L. japonica</i>	<i>W. columbiana</i>	<i>W. gladiata</i>		
	<i>L. minor</i>	<i>W. elongata</i>	<i>W. neotropica</i>		
	<i>L. trisulca</i>	<i>W. neglecta</i>	<i>W. welwitschii</i>		
	<i>L. gibba</i>	<i>W. angusta</i>	<i>W. denticulata</i>		
	<i>L. disperma</i>	<i>W. globosa</i>	<i>W. caudata</i>		
	<i>L. minuta</i>	<i>W. microscopica</i>	<i>W. repanda</i>		
	<i>L. valdiviana</i>	<i>W. australiana</i>	<i>W. hyalina</i>		
	<i>L. yungensis</i>	<i>W. borealis</i>	<i>W. rotunda</i>		
	<i>L. aequinoctialis</i>	<i>W. brasiliensis</i>			
	<i>L. perpusilla</i>				
	<i>L. tenera</i>				

Fuente: Elaboración propia basado en [Zhao, 2014](#).

### 3.1.3 Distribución geográfica (nacional y estatal)

Izazola (2021) expone que a nivel nacional se han documentado cuatro géneros y quince especies de lenteja de agua. En el caso del Estado de Querétaro, se han identificado un total de siete especies, tal como se visualiza en la Figura 6.

Figura 6. Mapa de distribución y especies de la lenteja de agua en el Estado de Querétaro.



Fuente: Elaboración propia basado en Izazola, 2021.

### 3.1.4 Valor nutricional de la lenteja de agua

La lenteja de agua ha demostrado tener un atractivo valor nutricional (Tabla 6), al conseguir un alto contenido de proteína, que varía ampliamente entre estudios, los valores reportados oscilan entre 13.09% y 41.00%. Esta variabilidad puede deberse

a múltiples factores, como las concentraciones de amonio y materia orgánica, el tiempo de retención y la tasa de biodegradación del lodo sedimentado en el fondo del cuerpo de agua. Además, la presencia de insectos y bacterias en el manto de la planta también puede influir en su valor nutricional, aunque la información específica al respecto es limitada en la mayoría de los estudios disponibles ([Zetina, 2010](#)).

**Tabla 6.** Composición química de diversas especies de lenteja de agua.

Especie	Materia Seca (MS)	Proteína bruta* (PC)	Extracto etéreo* (EE)	Cenizas* (CEN)	Extracto libre de nitrógeno* (E.L.N)	Fibra bruta* (FB)	Energía bruta* (EB) a (Mcal/kg de MS)
<i>Lemna minor</i>	-	28.0	5.0	25.0	32.0	10.0	3.8
	89.7	33.8	3.2	15.9	-	-	4.3
	87.3	41.0	4.4	16.2	-	9.4	5.0
<i>Spirodela polyrhiza</i>	67.5	18.6	1.5	2.5	-	11.0	2.8
	-	25.0	2.9	15.3	45.4	11.4	3.6
	90.8	29.8	12.3	10.5	17.5	20.7	-
	-	35.8	3.1	17.6	-	11.2	-
	-	23.8	3.8	16.1	-	11.7	-
	-	29.1	4.5	17.1	-	8.8	-
<i>Lemna gibba</i>	89.0	27.8	1.1	24.2	35.8	11.1	4.8
	-	25.2	4.7	13.7	-	9.4	-
<i>W. arriza</i>	-	20.4	4.6	15.9	-	11.6	-
<i>L. perpusilla</i>	-	25.3	4.5	18.3	-	7.6	-
	-	29.3	4.9	15.4	-	6.9	-
<i>Lemna sp.</i>	89.9	13,1	2.3	14.1	16.9	-	-
<i>S. punctata</i>	-	28.7	5.5	15.2	-	9.2	-
<i>W. columbiana</i>	-	36.5	6.6	14.0	-	3.6	-

\*Como % de la Materia Seca.

Fuente: Elaboración propia basado en [Zetina et al., 2010](#).

Además de su elevado contenido proteico, la lenteja de agua se destaca como una excelente fuente de aminoácidos esenciales, aunque presenta deficiencias en histidina y metionina. Esto sugiere que, si bien su uso como única fuente de alimentación puede afectar el rendimiento productivo, su inclusión en dietas integrales

puede ser beneficiosa al complementar estas deficiencias con otras fuentes de proteínas ([Zetina, 2010](#)).

Dada su alta concentración de proteínas, la lenteja de agua muestra un gran potencial como ingrediente en piensos, sirviendo como una fuente valiosa de reservas proteicas para el ganado. Es importante señalar que cada especie de lenteja de agua presenta diferentes contenidos nutricionales y antinutricionales, los cuales están influenciados en gran medida por las condiciones de crecimiento ([Tanuwiria y Mushawwir, 2020](#)).

### **3.1.5 Cultivo: Reproducción y desarrollo**

La forma de reproducción más frecuente en las plantas de lenteja de agua es la reproducción asexual por gemación. En los bordes inferiores de la planta madre se forma una pequeña yema que da origen a una nueva planta que se separa de la planta progenitora. Es común observar que las plantas se agrupan, formando conjuntos de 2 a 4 individuos ([Izazola, 2021](#)).

La lenteja de agua muestra tasas de crecimiento específicas significativamente más altas que otras plantas acuáticas, lo cual se ajusta a la regla de las 3/4 potencias de Kleiber. Estas plantas tienen tiempos de duplicación que oscilan entre 2 y 8 días ([Zhao, 2014](#)). Algunas especies de lenteja de agua son consideradas malezas o plagas debido a su rápido crecimiento y capacidad de reproducción vegetativa ([Izazola, 2021](#)). Es importante destacar que un crecimiento excesivo de estas plantas puede generar problemas de eutroficación en el agua, por lo que es necesario implementar medidas de control adecuadas ([Arroyave, 2004](#)).

De acuerdo con lo que menciona [Tache \(2020\)](#), en condiciones óptimas de crecimiento con suficiente disponibilidad de nutrientes, luz adecuada y temperatura del agua adecuada, las plantas de lenteja de agua pueden duplicar su peso cada 48 a 72 horas. Esto ocurre especialmente en cuerpos de agua que presentan concentraciones relativamente altas de fósforo y nitrógeno. La velocidad de reproducción de la lenteja de agua es aún más rápida que la de otras plantas, lo que puede dar lugar a la formación de densos mantos en la superficie de los cuerpos de agua.

[Hasan y Chakrabarti \(2009\)](#) establecen que las lentejas de agua tienen una preferencia por crecer en densos mantos en aguas dulces ligeramente salobres, formando espesas esteras. Sin embargo, no logran sobrevivir en aguas con corrientes rápidas ( $>0,3$  m/seg) ni en áreas expuestas a fuertes vientos. Además, el crecimiento de la lenteja de agua está influenciado en mayor medida por la temperatura y la intensidad de la luz solar que por las concentraciones de nutrientes en el agua.

La lenteja de agua tiene la capacidad de desarrollarse en un amplio rango de temperaturas, que oscila entre  $5^{\circ}\text{C}$  y  $30^{\circ}\text{C}$ , pero muestra un crecimiento óptimo en el rango de  $15^{\circ}\text{C}$  a  $18^{\circ}\text{C}$ . La lenteja de agua también muestra tolerancia a un amplio rango de pH, aunque su rango óptimo se encuentra entre 4,5 y 7,5 ([Arroyave, 2004](#)). Además, tiene la capacidad de crecer en aguas de cualquier profundidad. Sin embargo, se recomienda mantener una profundidad de entre 20 y 50 cm. Esta recomendación se debe a que mantener una profundidad adecuada ayuda a reducir posibles fuentes de estrés para la planta y facilita su posterior cosecha. Mantener una profundidad óptima permite un equilibrio adecuado de nutrientes, luz y otros factores ambientales que favorecen el crecimiento saludable de la lenteja de agua ([Hasan y Chakrabarti, 2009](#)).

El cultivo de lenteja de agua es un proceso que requiere un manejo intensivo y constante para lograr una producción óptima. Según [Hasan y Chakrabarti \(2009\)](#), se necesita prestar atención diaria y realizar recolecciones frecuentes a lo largo de todo el año para garantizar una productividad óptima. Este enfoque activo en el manejo es esencial para controlar y mantener las condiciones adecuadas de crecimiento, así como para asegurar la calidad y cantidad de la cosecha.

Es importante destacar que gran parte de la investigación sobre la productividad de la lenteja de agua se ha llevado a cabo en condiciones de laboratorio, y los resultados obtenidos se han extrapolado para su aplicación en producciones a mayor escala por hectárea. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que existen diversos géneros dentro de la familia de las Lemnaceae que se han utilizado en diversos estudios, así como diferentes fuentes de nutrientes utilizadas (Tabla 7), lo cual ha contribuido a una variabilidad significativa en los resultados obtenidos en muchas investigaciones ([Zetina et al., 2010](#)).

Según [Hernández \(2015\)](#), si las plantas acuáticas son cultivadas en aguas residuales, es posible utilizarlas como alimento para animales, siempre y cuando las aguas tratadas no contengan sustancias tóxicas y metales pesados. Es importante asegurarse de que el agua haya sido debidamente tratada para eliminar cualquier riesgo para la salud. Además, este mismo autor hace mención sobre la posibilidad de cultivar lenteja de agua utilizando residuos de diferentes fuentes, como estiércol de ganado bovino, desechos porcinos u otras materias orgánicas en forma líquida.

**Tabla 7.** Producción de lenteja de agua en diversas condiciones de crecimiento.

Localización	Producción (t MS ha-1 año-1)A	Fuente de nutrientes	Especie	Fuente
Louisiana	46.00	Estiércol de bovino diluido	<i>Lansoltia punctata</i>	Mestayer et al. (1984)
Holanda	20.00	Aguas negras domésticas	<i>Lemna gibba</i>	Körner et al. (2001)
	24.13	Aguas negras domésticas	<i>Lemna minor</i>	Zirschky y Reed (1988)
Bangladesh	10.00	Efluente de estiércol de vacas y pollos	<i>Lemna minor</i>	Shahidur et al. (2001)
Israel	10.10	No se reporta	<i>Lemna gibba</i>	Porath et al. (1979)
Vietnam	26.6	Efluentes de biodigestores con estiércol de vaca	<i>Spirodela polyrhiza</i>	Anh y Preston (1997)
India	8.40	Aguas residuales	<i>W arrhiza</i>	Naskar et al. (1996)
Tailandia	20.31	Estanques de tierra con drenaje de letrinas	<i>Spirodela polyrhiza</i>	Hassan (1986)
	11.20	Fuente de letrinas	<i>Lemna perpusilla</i>	Edwards et a. (1992)

Fuente: Elaboración propia basado en [Zetina et al., 2010](#).

En relación a la utilización de la lenteja de agua cultivada en aguas residuales, [Zetina et al. \(2010\)](#) mencionan que puede reducir eficientemente la cantidad de coliformes fecales en aguas negras. Esto sugiere que la producción obtenida en lagunas con este tipo de aguas puede ser utilizada con seguridad como alimento para peces, con un riesgo mínimo de patógenos entéricos. Sin embargo, es importante destacar que este estudio es solo un paso en la evaluación de la seguridad de utilizar la lenteja de agua cultivada en aguas residuales, y se requiere de más investigación para confirmar su viabilidad y seguridad en este contexto.

### 3.1.6 Toxicidad y compuestos antinutricionales

La lenteja de agua, aunque es una fuente prometedora de nutrientes, sin embargo, presenta riesgos asociados con la presencia de contaminantes como metales pesados, fenoles, pesticidas, dioxinas y patógenos. Estos contaminantes pueden acumularse en la planta debido a la contaminación del agua, afectando su seguridad como alimento o pienso para animales. Metales como cadmio, selenio, cobre, cromo, plomo y zinc han sido encontrados en la lenteja de agua, lo que representa un riesgo para la cadena alimentaria. Además, la planta tiene la capacidad de absorber y transformar compuestos tóxicos como fenoles y pesticidas, incluidos los organofosforados. En cuanto a los patógenos, la lenteja de agua cultivada en aguas residuales puede estar contaminada con bacterias como *Escherichia coli* o *Clostridium botulinum*, lo que plantea riesgos microbiológicos, especialmente en condiciones de saneamiento inadecuado. Por lo tanto, es crucial desarrollar métodos de control y procesamiento que garanticen la seguridad de los productos proteicos derivados de la lenteja de agua, para evitar la contaminación con estos antinutrientes y patógenos (Van der Spiegel, 2013).

Por otro lado, los factores antinutricionales son compuestos que interfieren con la absorción y aprovechamiento de los nutrientes, afectando la salud y los procesos fisiológicos del organismo. En el caso de la lenteja de agua, su capacidad para absorber sustancias del medio ambiente la hace vulnerable a compuestos tóxicos como triazinas, sulfonureas y piridinas, que también representan un riesgo para el entorno. Diversos estudios han identificado la presencia de taninos, ácido fítico, inhibidores de tripsina y oxalatos de calcio en esta planta. Las concentraciones de taninos varían desde 0.02 % hasta 0.9 %, el ácido fítico se encuentra entre 0.09 % y 0.58 %, los inhibidores de tripsina alcanzan hasta 1.47 %, y los oxalatos de calcio pueden llegar hasta 3.5 %. Sin embargo, investigaciones recientes han confirmado que estas sustancias pueden ser desactivadas mediante tratamientos térmicos, eliminando su toxicidad y permitiendo el consumo seguro de la lenteja de agua (Prada et al., 2024). Por lo tanto, es crucial desarrollar y aplicar métodos de control y procesamiento eficaces que aseguren la inocuidad de la lenteja de agua, aprovechando su valor nutritivo de manera segura.

### **3.1.7 Sistemas análogos de producción de lenteja de agua para alimentación animal**

En los últimos años, la lenteja de agua ha despertado el interés de los productores ganaderos que buscan alternativas sostenibles para la alimentación del ganado y la optimización de los recursos en sus fincas. Este interés se debe a las propiedades nutricionales de esta planta acuática, que la convierten en un recurso eficiente para complementar la dieta de los animales de granja, reduciendo los costos de alimentación y mejorando la gestión de los residuos orgánicos.

La lenteja de agua es una planta productiva. En efecto, cada dos días, es posible cosechar una nueva biomasa a partir de la inicial. Además, esta planta puede generar entre 10 y 30 toneladas de materia seca por hectárea al año, con un contenido proteico del 43%. Estudios han demostrado que la biomasa de la lenteja de agua puede alcanzar niveles de 176,38 g/m<sup>2</sup> en condiciones húmedas y 6,24 g/m<sup>2</sup> en condiciones secas. Sin embargo, un estudio realizado en el área de Cikajang Garut encontró que la productividad de la lenteja de agua alcanzaba los 234,37 g/m<sup>2</sup> en estado húmedo ([Tanuwiria y Mushawwir, 2020](#)).

En la Figura 7, se ilustra un modelo de producción implementado en una finca dedicada a la cría de aves orgánicas en Guatemala (ASI ES GUATEMALA, 2018), en el cual se ha establecido un estanque de 2 metros de ancho, 5 metros de largo y 0,15 metros de profundidad, destinado al cultivo de lenteja de agua.

El agua del estanque se fertiliza periódicamente con gallinaza, es decir, estiércol seco de gallina, lo que provee los nutrientes esenciales para el crecimiento óptimo de la planta. Este sistema ha sido introducido para alimentar a las propias gallinas que generan la gallinaza utilizada en el proceso, creando así un ciclo cerrado y autosuficiente. La lenteja de agua cultivada se convierte en una fuente rica en nutrientes que complementa la dieta de gallinas y pollos, disminuyendo la dependencia de alimento comercial y optimizando la gestión de los desechos orgánicos de la finca de manera eficiente.



**Figura 7.** Modelo de producción de lenteja de agua a base de gallinaza.



*Fuente: ASI ES GUATEMALA, 2018.*

En 2019, Grupo Campollo en Guatemala implementó un innovador sistema de producción sostenible mediante la instalación de un estanque de 0,20 metros de profundidad, ubicado cerca de los contenedores que sirven como criaderos de tilapias. Este estanque (Figura 8), es fertilizado con gallinaza compostada cada ocho días, lo que asegura un crecimiento óptimo de la lenteja de agua. El sistema garantiza un rendimiento de una libra de lenteja por metro cuadrado (Figura 9), siendo utilizado para alimentar a las gallinas, pollos y tilapias dentro de la finca, lo que optimiza el uso de recursos, reduce costos de alimentación y promueve una gestión eficiente de los desechos orgánicos generados en la operación (Fundación Madre Tierra, 2019).

**Figura 8.** Modelo de producción “Grupo Campollo” en Guatemala.



*Fuente: Fundación Madre Tierra, 2019.*

Los modelos de producción de lenteja de agua descritos en este capítulo demuestran que, mediante sistemas sencillos y de baja tecnificación, se ha logrado implementar con éxito sistemas circulares de cultivo dentro de unidades de producción pecuaria. Estos sistemas, centrados en la alimentación de aves como gallinas y pollos, así como en la producción de tilapias y cerdos, han optimizado el manejo de los recursos y la gestión de residuos orgánicos. Sin embargo, los sistemas ganaderos bovinos no han sido considerados, lo que subraya la relevancia de este proyecto de investigación, que busca marcar un precedente en la introducción de estos sistemas en el contexto de la ganadería local, abriendo nuevas oportunidades para la sostenibilidad en la alimentación animal y el aprovechamiento eficiente de los recursos.

**Figura 9.** Producción de lenteja de agua, “Grupo Campollo” en Guatemala.



Fuente: Fundación Madre Tierra, 2019.

### **3.1.8 Implementación de lenteja de agua en la nutrición de rumiantes.**

El ganado bovino está compuesto por animales conocidos como rumiantes, debido a su sistema digestivo especializado. Estos animales, como vacas y toros, tienen la capacidad de rumiar, un proceso que consiste en regurgitar el alimento parcialmente digerido desde el rumen hacia la boca para masticarlo nuevamente. Este mecanismo les permite descomponer con mayor eficacia materiales vegetales fibrosos, como pasto y forraje, facilitando así la absorción de los nutrientes. La capacidad de rumiar es esencial para la digestión de los rumiantes, ya que les permite descomponer la celulosa y otros compuestos complejos presentes en su dieta, optimizando el aprovechamiento de los nutrientes.

En este contexto, la lenteja de agua ha despertado el interés como un posible complemento alimenticio para rumiantes. Según Leng ([1995](#)), un estudio sobre el uso de lenteja de agua en la dieta de novillas Holstein evaluó una dieta basada en ensilaje de lenteja de agua y maíz (proporción 2:1). Los resultados indicaron que las novillas alimentadas con esta dieta experimentaron un aumento en las tasas de crecimiento sin presentar efectos adversos.

En este sentido, el estudio realizado por Castillo ([2005](#)) indica que esta especie tiene un potencial calorífico comparable al de algunos pastos, lo que la convierte en una opción viable para la alimentación de bovinos, siempre que se garantice su calidad a través de un control adecuado de las condiciones de cultivo.

Aunque son escasos los estudios sobre el uso de harina de lenteja de agua como suplemento alimenticio para rumiantes, algunos autores sugieren que esta planta podría ser una fuente valiosa de minerales, particularmente fósforo y nitrógeno. La combinación de residuos de cultivos con lenteja de agua fresca podría proporcionar un equilibrio nutricional adecuado, lo que permitiría su aplicación en sistemas de producción de ganado bovino, ovino y caprino ([Van der Spiegel, 2013](#)).

Un estudio de Tirado-Estrada et al. ([2018](#)) refuerza la viabilidad de la lenteja de agua (*Lemna gibba*) como una alternativa económica y sostenible en la alimentación de rumiantes. Según los resultados de este estudio, *Lemna gibba* puede sustituir parcial o totalmente los granos y concentrados utilizados en la dieta tradicional. Utilizando un enfoque in vitro, el estudio evaluó el efecto de diferentes niveles de inclusión de *Lemna gibba* en la fermentación ruminal. Los resultados respaldaron la hipótesis de que esta planta acuática mejora el valor nutritivo de la dieta, además de reducir la producción de metano, lo cual contribuye a mitigar el impacto ambiental de la ganadería. Además, se observó que el perfil de aminoácidos de *Lemna gibba* es similar al de la soja, lo que sugiere que la calidad de su proteína podría ser comparable a este recurso ampliamente utilizado en la alimentación animal. De acuerdo con los hallazgos de este estudio, se puede incluir hasta un 15% de *Lemna gibba* en la dieta basal de los rumiantes sin comprometer su valor nutricional, consolidándola como una alternativa sustentable en los sistemas de producción actuales.

Yahaya ([2022](#)) coincide en que la lenteja de agua ha sido poco estudiada en relación con su aplicación en la nutrición de rumiantes, a pesar de que puede consumirse tanto fresca como seca. Esta falta de exploración limita el entendimiento sobre su valor nutricional y sus posibles beneficios en la dieta de los rumiantes, lo que resalta la necesidad de realizar investigaciones más detalladas para evaluar su potencial en la alimentación animal.

Por otro lado, Ajayi et al. ([2023](#)) señalan que la lenteja de agua es una fuente prometedora de proteínas, lípidos, minerales y fibra, lo que la convierte en un forraje valioso para los rumiantes. La proteína contenida en esta planta es altamente degradable en el rumen, lo que facilita su digestión. Además, su bajo contenido de fibra, especialmente lignina, y su alto contenido de lípidos y minerales, como calcio y fósforo, mejoran su digestibilidad. El estudio también destaca la presencia de saponinas en la lenteja de agua, que inhiben la degradación de proteínas y reducen la producción de gas durante la fermentación. No obstante, subrayan la necesidad de realizar más investigaciones para evaluar las respuestas de los rumiantes a las dietas basadas en lenteja de agua y los efectos sobre la calidad de los productos derivados, como la leche y la carne.

Es importante destacar que la calidad nutricional de lenteja de agua puede variar en función de las condiciones en las que se cultiva, por lo que es esencial controlar adecuadamente el ambiente en el que crece esta planta para maximizar su valor como recurso alimenticio ([Tirado-Estrada et al., 2018](#)).

La lenteja de agua se perfila como una alternativa prometedora y sostenible para enriquecer las dietas de los rumiantes, con el potencial de transformar los sistemas de producción ganadera. Aunque los estudios disponibles resaltan sus beneficios, aún es necesario profundizar en la investigación para comprender plenamente su impacto en la salud y el rendimiento de los animales, así como para perfeccionar las condiciones de su cultivo. Además, resulta fundamental explorar opciones de procesamiento que permitan introducir esta biomasa en el mercado como un pienso ganadero competitivo, maximizando su aprovechamiento y consolidándola como una opción viable y atractiva para los productores.

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La producción ganadera bovina enfrenta diversos obstáculos que inciden en la productividad, la sostenibilidad y la eficiencia en el uso de recursos. En particular, la ganadería de engorda se ve afectada por dificultades adicionales en la alimentación del ganado, ya que el uso de forrajes tradicionales implica elevados costos económicos y un impacto ambiental negativo debido a las prácticas de cultivo intensivo. Ante esta situación, la búsqueda de alternativas sostenibles que mejoren la alimentación de los bovinos se ha convertido en un área de interés creciente.

Uno de los problemas más destacados en este ámbito es la acumulación excesiva de estiércol en los corrales de alimentación y su posterior uso como fertilizante orgánico. Esta práctica ha sido vinculada a la contaminación del suelo, agua y aire, especialmente debido a los elevados niveles de nitrógeno (N) y fósforo (P) presentes en las excretas, lo que agrava los efectos negativos sobre los ecosistemas. Diversos estudios, como los de [Herrero y Gil \(2008\)](#), han señalado que la gestión inadecuada de estos residuos es una problemática ambiental de gran relevancia. A nivel latinoamericano, y particularmente en México, la regulación sobre el manejo de excretas animales es limitada, lo que pone de manifiesto la falta de un sistema sostenible que minimice el impacto ambiental de estos desechos ([Pinos et al., 2012](#)). Este desafío, sin embargo, también representa una oportunidad para mejorar la eficiencia productiva en la ganadería local, a través de soluciones innovadoras que integren la gestión de residuos con la mejora en la producción de alimentos para el ganado.

En el estado de Querétaro, donde la ganadería es una actividad clave, el 78.1% de las unidades de producción ganadera enfrenta elevados costos de insumos y servicios, según el [INEGI \(2019\)](#). A esto se suma que el 64.9% de los productores no utiliza alimentos balanceados en su ganado, lo que repercute negativamente en la productividad. Este escenario exige la búsqueda urgente de alternativas que optimicen el uso de recursos y reduzcan los costos asociados a la producción de alimentos.

En este contexto, la lenteja de agua se presenta como una opción prometedora como suplemento ganadero no convencional, caracterizado por su alto contenido proteico,

minerales, lípidos y fibra, ofrece un suplemento nutricionalmente valioso para los rumiantes. Sin embargo, su uso en la alimentación de bovinos de engorda aún se encuentra en fase experimental, y su calidad depende de las condiciones de cultivo, lo que dificulta su implementación práctica en sistemas de producción ganadera.

La presente investigación propone el desarrollo de un modelo de producción de lenteja de agua que utilice el estiércol de bovino como sustrato, creando así un sistema circular dentro de las unidades de producción de bovinos de engorda. Este enfoque tiene el potencial de generar una nueva fuente de alimento para los rumiantes, optimizando el uso de los recursos disponibles, reduciendo la dependencia de insumos externos y mitigando el impacto ambiental asociado a la acumulación de estiércol. Al aprovechar los residuos de la ganadería intensiva para la producción de lenteja de agua, se puede contribuir a la sostenibilidad de los sistemas de producción ganadera y mejorar la eficiencia alimenticia, beneficiando tanto al medio ambiente como a la rentabilidad de los productores.

### III. JUSTIFICACIÓN

En el municipio de Amealco de Bonfil, Querétaro, la ganadería bovina desempeña un papel crucial en la economía local. Sin embargo, este sector enfrenta una serie de desafíos que impactan tanto la productividad como la sostenibilidad de las actividades ganaderas. Entre estos desafíos se encuentran la disponibilidad limitada de forrajes a lo largo del año, los elevados costos de alimentación, la competencia por recursos alimenticios entre el ganado y la población humana, especialmente con los cereales, y la gestión adecuada del estiércol. Además, las variaciones en las características de las unidades de producción pecuarias, que incluyen su tamaño y capacidad de adaptación a condiciones climáticas cambiantes, complican la situación de los pequeños productores ganaderos de la región.

De acuerdo con datos de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario (SEDEA, 2023), el municipio de Amealco de Bonfil destaca por contar con el mayor número de unidades de producción de bovinos de engorda para la producción de carne en Querétaro. Sin embargo, no es el municipio con el mayor número de cabezas de ganado, lo que indica un gran potencial para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de las explotaciones ganaderas.

En este contexto, la lenteja de agua surge como una solución viable y sostenible. Esta planta acuática, conocida por su rápido crecimiento y capacidad de multiplicación, ofrece una fuente constante de forraje rico en proteínas, esencial para la nutrición del ganado, especialmente en épocas de escasez de forraje convencional. Estudios han demostrado que la lenteja de agua puede crecer en diversos ambientes alimentados por materia orgánica, como el estiércol de bovino, lo que la convierte en un recurso ideal para sistemas de producción circulares.

Un aspecto clave de la propuesta es la posibilidad de revalorizar el estiércol bovino como un recurso valioso para el cultivo de lenteja de agua. En lugar de ser considerado un desecho, el estiércol puede ser utilizado como fertilizante natural, promoviendo un ciclo cerrado de nutrientes dentro de las unidades productivas. El desarrollo de un sistema de producción de lenteja de agua utilizando estiércol bovino como sustrato no solo responde a las necesidades inmediatas de los pequeños productores ganaderos, sino que representa una innovación estratégica para enfrentar los desafíos actuales del sector ganadero en Querétaro.

## **IV. OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo general**

Desarrollar un modelo productivo de lenteja de agua que aproveche el estiércol bovino como sustrato, proporcionando a los ganaderos de engorda del municipio de Amealco de Bonfil, Querétaro, una alternativa para la alimentación de su ganado.

### **4.2 Objetivos específicos**

1. Comprender las necesidades, problemas y oportunidades de los productores ganaderos del municipio de Amealco de Bonfil, Querétaro, relacionadas con la alimentación de sus bovinos y el manejo del estiércol bovino, con el fin de contextualizar adecuadamente el entorno de los productores de ganado bovino en la región.
2. Evaluar la tasa de crecimiento del cultivo de la lenteja de agua en diferentes concentraciones de estiércol de ganado bovino en el municipio de Amealco de Bonfil, Querétaro.
3. Analizar la composición nutricional de la biomasa de lenteja de agua producida y su posible uso como alimento para la crianza de ganado bovino.
4. Diseñar el modelo de cultivo de lenteja de agua centrado en una unidad de producción pecuaria de bovinos en el municipio de Amealco de Bonfil.



## **V. METODOLOGÍA**

La elección de la metodología *Design Thinking* para abordar el presente proyecto de investigación se fundamenta en la necesidad de adoptar un enfoque centrado en el usuario, que permita comprender las necesidades y desafíos de los productores ganaderos del municipio de Amealco, Querétaro.

En este sentido, la metodología *Design Thinking* ofrece un marco estructurado que permite identificar, definir y resolver problemas de manera colaborativa, enfocándose en las necesidades reales de los usuarios y promoviendo la generación de soluciones innovadoras, y adaptadas al contexto específico de los productores ganaderos.

Este enfoque metodológico fue seleccionado para aterrizar las etapas de desarrollo de la investigación, orientándolas con los objetivos específicos del proyecto. Es importante destacar que, en este punto, no se contempla la etapa de evaluación, ya que la metodología se centra en la identificación y resolución de problemas en las fases previas.

A continuación, se describen detalladamente las actividades que se desarrollaron en cada una de las fases.

### **5.1 Empatizar y comprender**

Con el propósito de profundizar en el entendimiento sobre el contexto actual de las unidades de producción pecuarias en el municipio de Amealco de Bonfil, Querétaro, se diseñó una encuesta estructurada (Anexo 1) para recabar información relevante. Estas encuestas abordaron aspectos como la cantidad de cabezas de ganado presentes en la unidad, las razas predominantes, el tipo de alimentación utilizada y las principales dificultades enfrentadas en el último año, especialmente aquellas relacionadas con la alimentación. Además, se indagó sobre las prácticas de manejo de estiércol, así como los desafíos reportados para su aprovechamiento en el último año.

El cuestionario utilizado, incluye nueve preguntas y se diseñaron criterios específicos para su implementación, con el fin de asegurar la representatividad de los participantes y la precisión en la dirección de la encuesta. Se enfocó en productores de ganado bovino ubicados en el municipio de Amealco de Bonfil, Querétaro, que

contaran con una unidad de producción pecuaria (UPP) dedicada a bovinos de engorda. Esta estrategia metodológica, se adoptó para obtener un entendimiento profundo sobre la situación actual de los productores en el sector. Se optó por una muestra no probabilística de conveniencia, compuesta por 44 productores ganaderos miembros de la Asociación Ganadera Local de Amealco (AGLA). Las encuestas fueron realizadas de manera presencial, en donde la participación de los productores fue voluntaria y anónima. La información obtenida fue procesada y analizada mediante la plataforma *Google Forms*, lo que facilitó la generación de gráficos para su análisis posterior.

Por otra parte, para complementar esta investigación, se llevó a cabo un estudio observacional, a lo largo de una semana, dentro de una unidad de producción pecuaria de bovinos, llamada “La Mora”, ubicada en el municipio de Amealco de Bonfil, Querétaro (20°12'12.1"N 100°09'19.4"W). Este acercamiento permitió interactuar con administradores y trabajadores, otorgando una perspectiva más humana y real del contexto cotidiano para la introducción de la estrategia que involucra el sistema de lenteja de agua y el aprovechamiento de estiércol generado en la misma unidad.

## **5.2 Definir**

En esta fase, se llevó a cabo una revisión de la literatura científica a través de diversas plataformas académicas, como *Google Académico*, *Scielo*, entre otros. El objetivo fue identificar enfoques metodológicos que permitieran definir las características de un modelo piloto para la implementación de una prueba en una UPP dedicada al ganado bovino, ubicada en el municipio de Amealco de Bonfil, Querétaro.

La selección de la información se centró en artículos científicos e investigaciones que permitieron establecer los criterios de diseño y construcción de un sistema piloto de producción de lenteja de agua. Se analizaron aspectos clave como la ubicación, la fuente de nutrientes para la fertilización del sistema, la especie de lenteja de agua empleada, las condiciones generales del experimento y la duración del periodo de experimentación.

### 5.3 Idear

Durante esta fase, se diseñó un modelo productivo que cumpliera con los requerimientos mínimos para su funcionamiento y evaluación, considerando también los recursos disponibles en UPP donde se llevó a cabo la experimentación. El objetivo principal fue evaluar el impacto de distintas concentraciones de estiércol bovino en la reproducción y crecimiento de la lenteja de agua, con el fin de determinar las condiciones óptimas para el prototipo final. Esta fase experimental se basó en los hallazgos y el análisis de la literatura revisada previamente. Es importante mencionar que en esta etapa se construyó un primer modelo experimental (alfa) cuya evaluación permitió mejorar las condiciones de producción para diseñar y construir una segunda unidad experimental (beta), y con los resultados de esta última se propuso un sistema teórico con las características mínimas viables para su funcionamiento efectivo.

Para analizar los resultados de esta etapa, se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) junto con una prueba post hoc de Tukey, aplicados a las réplicas de cada uno de los tratamientos propuestos en la evaluación de cada prototipo. Este enfoque permitió evaluar de manera detallada las diferencias entre las concentraciones de estiércol y determinar la cantidad necesaria para el cultivo de la lenteja de agua en el sistema propuesto. Además, el análisis cuantitativo se complementó con un registro fotográfico semanal, que facilitó el monitoreo y la comparación cualitativa del crecimiento de la biomasa a lo largo del tiempo, así también, se llevó a cabo la medición del peso fresco semanal.

En relación con la evaluación de la calidad nutricional de la biomasa obtenida, se analizaron cuatro muestras compuestas de los tratamientos establecidos en el modelo experimental beta de lenteja de agua. El propósito de este análisis fue determinar el perfil nutricional de la biomasa y valorar cómo podría impactar en la dieta de los bovinos. Para ello, se realizaron estudios bromatológicos que incluyeron la medición de parámetros como proteínas, grasas totales, azúcares, humedad, cenizas, fibra dietaria y fibra cruda total. Los análisis se llevaron a cabo en el laboratorio de Bioingeniería de la Facultad de Ingeniería, Campus Amazcala de la Universidad Autónoma de Querétaro. En la Tabla 8 se detallan las técnicas empleadas para dichos análisis.

**Tabla 8.** Técnicas utilizadas en los análisis bromatológicos

<b>Análisis</b>	<b>Técnica</b>
Proteína	Digestión y espectrofotometría (Kjeldahl)
Grasas totales	Extracción asistida por microondas (EPA 3546)
Azúcares totales	Espectrofotometría método antrona
Humedad	Gravimétrico (PROY-NOM-211-SSA-2002)
Cenizas	Gravimétrico (NMX-F-066-5-1978)
Fibra cruda total	Por diferencia

Fuente: Elaboración propia (Guzmán, 2024).

#### **5.4 Prototipar**

Basándose en los resultados obtenidos en las etapas anteriores de esta investigación, se procedió al desarrollo de una primera versión de un modelo 3D en *SketchUp 2023* del sistema de cultivo. Este modelo fue diseñado para adaptarse a las necesidades de los productores ganaderos del municipio de Amealco de Bonfil, proporcionando una representación visual clara y detallada del sistema de cultivo de lenteja de agua y su integración en las unidades de producción pecuarias de la región. El modelo responde a la estrategia denominada "Operación Lenteja", que busca optimizar el uso de este recurso agrícola en el ámbito ganadero; y presenta un cálculo teórico de producción, así como las dimensiones propuestas del mismo. Además, contempla las condiciones climatológicas del municipio, lo que permite crear un ambiente en donde la planta pueda prosperar de manera adecuada. El modelo integra diversos elementos de mercado, como opciones de comercialización y costos ajustados, lo que facilita su escalabilidad y permite adaptarse a las capacidades y necesidades específicas de cada unidad pecuaria, asegurando su viabilidad económica a largo plazo.

## VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 Identificación de necesidades y desafíos en la alimentación y manejo de estiércol en ganadería bovina en el municipio de Amealco de Bonfil, Querétaro.

#### 6.1.1 Encuestas a productores ganaderos locales

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir de la encuesta aplicada a los productores ganaderos de Amealco de Bonfil, Querétaro. Estos resultados ofrecen una visión sobre las condiciones actuales en las unidades de producción pecuarias, particularmente en cuanto a la alimentación del ganado, el manejo de estiércol y los principales desafíos enfrentados por los productores en el último año. La información recopilada permite identificar tendencias y áreas de mejora dentro del sector ganadero local, lo cual es esencial para el desarrollo de soluciones que optimicen las prácticas productivas y ambientales en la región.

De los ganaderos encuestados, las unidades de producción pecuaria están asentadas en diversas localidades del municipio de Amealco de Bonfil, entre las que se incluyen *San Bartolomé del Pino, La Ladera, Loma Linda, San José Itho, El Batán, Los Arenales, El Saucito, La Mesa, La Cruz (San Bartolo), La Muralla, El Atoron, El Apartadero, Galindillo, Quiotillos, El Pino, El Picacho, La Manzana, Mesa de San Martín, Buenos Aires, Guadalupe El Terrero, San Nicolás de la Torre, El Lindero, Los Árboles y San Felipe*. Estas comunidades representan la diversidad geográfica y las características particulares de las zonas en las que los productores desarrollan sus actividades ganaderas.

##### 6.1.1.1 Densidad y diversidad de ganado bovino

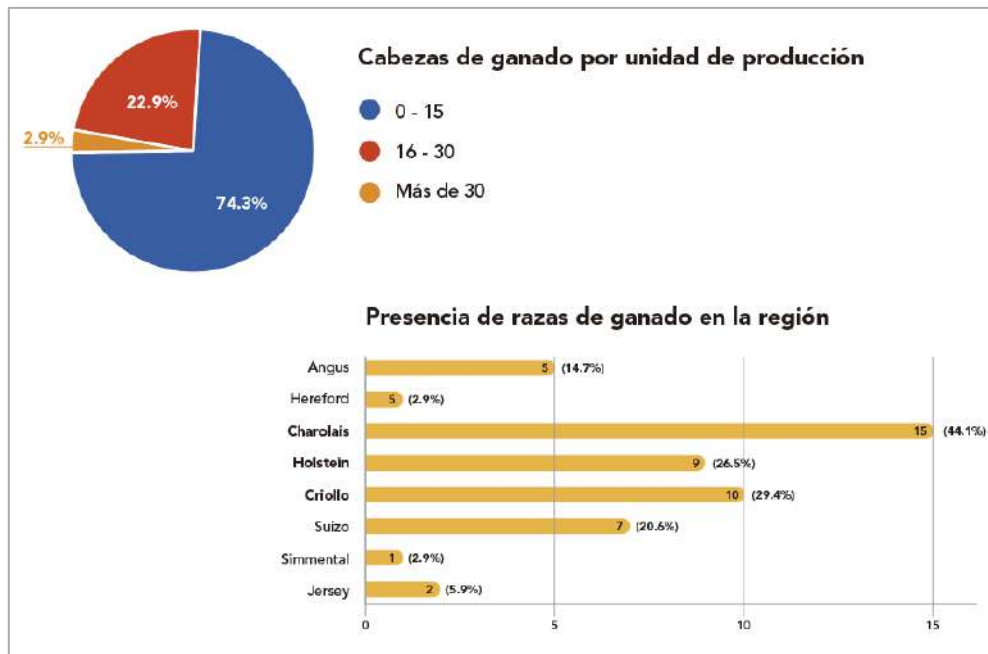
La figura 10 muestra los resultados obtenidos en la encuesta relacionados con la densidad y el tipo de ganado. La imagen presenta dos gráficos que ilustran de manera clara y detallada la distribución de cabezas de ganado por unidad de producción y la presencia de diversas razas de ganado en la zona. A continuación, se detallan los hallazgos más relevantes.

En el primer gráfico, que ilustra la densidad de ganado por unidad de producción, se observa que la gran mayoría de los ganaderos encuestados (74.3%) tienen entre 0 y

15 cabezas de ganado. El 22.9% de los ganaderos reporta tener entre 16 y 30 cabezas. Por último, un pequeño porcentaje (2.9%) tiene unidades con más de 30 cabezas de ganado.

El segundo gráfico presenta la distribución de las razas de ganado presentes en la región. De acuerdo con los resultados, la raza *Charolais* es la más prevalente, con un 44.1% de los encuestados reportando la presencia de esta raza en sus unidades de producción. La raza *Criolla* ocupa el segundo lugar con un 29.4% de presencia, seguida por la raza *Holstein* con un 26.5%. Otras razas como *Angus*, *Hereford*, *Suizo*, *Simmental* y *Jersey* tienen una representación considerablemente más baja.

**Figura 10:** Densidad y diversidad de razas de ganado en la región.



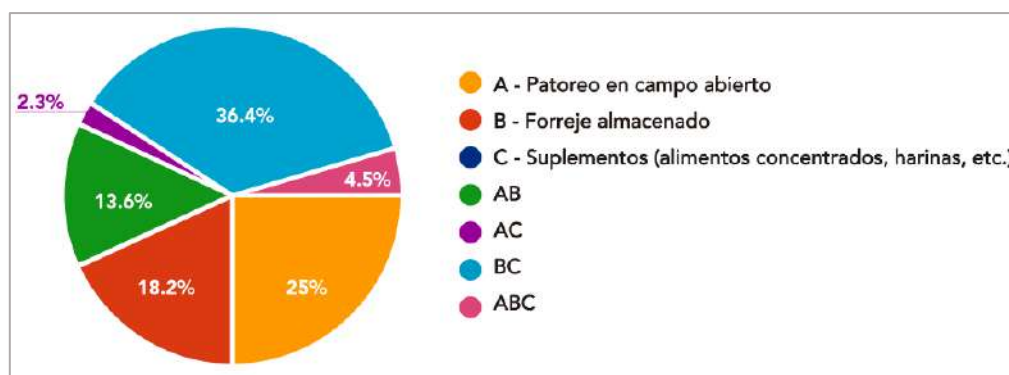
Fuente: Elaboración propia (Guzmán, 2024).

Los resultados obtenidos indican una clara preferencia por razas adaptadas a las condiciones locales, destacando la predominancia del ganado *Charolais*, *Criollo* y *Holstein*, principalmente. En cuanto a la densidad de ganado, la categoría con mayor número de respuestas fue la de 1 a 15 cabezas, lo que refleja que la mayoría de las unidades de producción en la región son de pequeña escala.

### 6.1.1.2 Prácticas de alimentación en la región

La figura 11 muestra un gráfico de pastel que expone los resultados de las diversas estrategias de alimentación en la región. La mayoría de los productores (36.4%) emplean una combinación de forraje almacenado y suplementos (alimentos concentrados, harinas, etc.), lo cual sugiere una dependencia importante de estos dos recursos para alimentar al ganado. Un 25% de los productores se basa exclusivamente en el pastoreo en campo abierto, lo que indica que aún se mantienen prácticas tradicionales de alimentación directa con vegetación natural.

**Figura 11:** Estrategias de alimentación para alimentar al ganado en la región.



Fuente: Elaboración propia (Guzmán, 2024).

Por otro lado, el 18.2% de los encuestados utiliza únicamente forraje almacenado, probablemente debido a limitaciones en la disponibilidad de pastos o para asegurar la alimentación en épocas de escasez. Además, el 13.6% combina el pastoreo en campo abierto con forraje almacenado, estrategia que permite reducir costos al combinar recursos naturales con reservas de alimento.

Un pequeño porcentaje (4.5%) emplea las tres estrategias: pastoreo, forraje almacenado y suplementos, lo cual sugiere un enfoque intensivo para asegurar la nutrición del ganado en distintas circunstancias. Finalmente, solo el 2.3% utiliza una combinación de pastoreo y suplementos sin depender de forraje almacenado.

Estos datos evidencian la variedad de métodos de alimentación, con una tendencia a complementar la alimentación natural con recursos adicionales, probablemente para

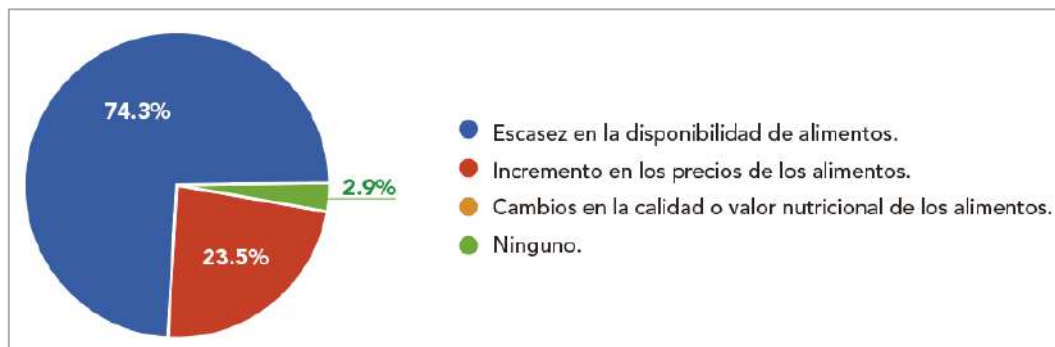
afrontar variaciones estacionales y asegurar la nutrición del ganado en tiempos de escasez.

Cabe mencionar que algunas opciones de combinación de estrategias de alimentación no fueron seleccionadas por ningún participante, como el uso exclusivo de suplementos o la combinación de pastoreo con suplementos sin forraje almacenado. Esto sugiere una preferencia por enfoques que incluyan una base de forraje almacenado o pastoreo, asegurando así una fuente de alimento constante y accesible para el ganado en la región.

La figura 12 muestra las principales dificultades relacionadas con la alimentación del ganado reportadas por los productores en la región. La mayoría, el 74.3%, señaló la "escasez en la disponibilidad de alimentos" como el problema más significativo. Esto indica que la falta de recursos alimenticios es un desafío predominante en el área, afectando la sostenibilidad de las unidades de producción pecuaria.

El segundo problema más común, mencionado por el 23.5% de los productores, es el "incremento en los precios de los alimentos", lo cual sugiere que el costo de los insumos alimenticios representa una carga económica considerable para los ganaderos. Solo el 2.9% de los participantes reportó no haber experimentado dificultades relacionadas con la alimentación, mientras que ninguna de las respuestas incluyó "cambios en la calidad o valor nutricional de los alimentos", lo que indica que los problemas de disponibilidad y costo son más críticos que los aspectos nutricionales en esta región.

**Figura 12.** Dificultades percibidas relacionadas con la alimentación del ganado



Fuente: Elaboración propia (Guzmán, 2024).



En conjunto, estos resultados destacan un panorama en el que los productores de ganado bovino en Amealco de Bonfil enfrentan serios desafíos en cuanto a la disponibilidad y costo de los alimentos. La dependencia de estrategias mixtas de alimentación refleja un esfuerzo por parte de los productores para adaptarse a la escasez y a los costos elevados, asegurando una nutrición adecuada del ganado durante todo el año. Sin embargo, la alta dependencia de alimentos almacenados y suplementos indica una vulnerabilidad a factores externos como la variabilidad climática y las fluctuaciones de precios en el mercado de forraje y concentrados.

En conclusión, estos resultados sugieren que iniciativas como la producción de lenteja de agua, que pueden ofrecer un suministro constante de forraje de bajo costo utilizando recursos locales como el estiércol bovino, podrían ser de gran valor para los productores de la región. Esta alternativa podría ayudar a reducir la dependencia de alimentos costosos y aliviar la presión económica sobre los ganaderos, al tiempo que mejora la sostenibilidad y resiliencia de las unidades de producción pecuarias.

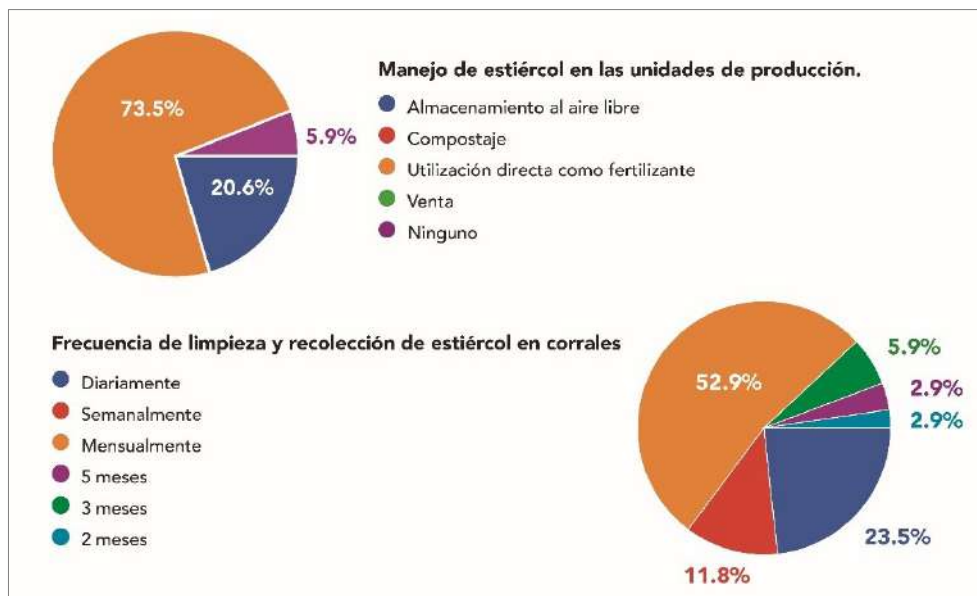
#### **6.1.1.3 Manejo y aprovechamiento del estiércol en la región**

La Figura 13, presenta dos gráficos circulares que detallan el manejo y la frecuencia de limpieza del estiércol en las unidades de producción ganadera en el municipio de Amealco de Bonfil, Querétaro. En cuanto al manejo de estiércol, se observa que la gran mayoría de los productores (73.5%) acumula el estiércol formando acumulaciones al aire libre. Esto sugiere que el almacenamiento al aire libre es la práctica dominante para el manejo del estiércol en la región, posiblemente debido a su facilidad y baja inversión en infraestructura. Un porcentaje significativo de productores (20.6%) emplea el estiércol directamente como fertilizante, lo que indica una utilización práctica de los residuos y una gestión más eficiente de los recursos. Solo un pequeño porcentaje (5.9%) procesa el estiércol mediante compostaje, y una proporción igual lo comercializa. Curiosamente, un 5.9% de los encuestados no realiza ninguna gestión específica del estiércol, lo que podría tener implicaciones en la contaminación ambiental y la gestión de residuos en la región.

En cuanto a la frecuencia de limpieza y recolección de estiércol en corrales, se observa que la mayoría de los encuestados (52.9%) realiza la limpieza de estiércol

de forma diaria, lo que demuestra una práctica constante de mantenimiento de la higiene en las unidades de producción ganadera. Casi una cuarta parte (23.5%) realiza la limpieza semanalmente, y un 11.8% lo hace mensualmente. Intervalos más largos de limpieza son menos comunes, con un 5.9% realizando la limpieza cada cinco meses, y un 2.9% cada tres meses y cada dos meses respectivamente.

**Figura 13.** Manejo y la frecuencia de limpieza del estiércol.



Fuente: Elaboración propia (Guzmán, 2024).

Estos resultados indican que, si bien la mayoría de los productores en el municipio de Amealco de Bonfil emplean prácticas regulares de limpieza y gestión de estiércol, el almacenamiento al aire libre sigue siendo la práctica dominante para el manejo de estiércol. Esto podría tener implicaciones en la gestión de residuos y la contaminación ambiental, así como en la eficiencia en el uso de los recursos. Es importante considerar estrategias para mejorar la gestión de estiércol y fomentar prácticas más sostenibles en la producción ganadera en la región.

En términos de discusión con otros autores, estos resultados coinciden con estudios previos que han destacado la importancia de la gestión adecuada de estiércol en la producción ganadera para prevenir la contaminación ambiental y mantener la salud y productividad del ganado. Sin embargo, la predominancia del almacenamiento al aire libre sugiere la necesidad de mayor conciencia y acción en cuanto a prácticas más

sostenibles de gestión de estiércol, como el compostaje, que pueden beneficiar tanto al medio ambiente como a la productividad ganadera.

En conclusión, los resultados de este acercamiento con productores ganaderos sugieren que, si bien los productores en el municipio de Amealco de Bonfil emplean prácticas regulares de limpieza y gestión de estiércol, existen áreas de oportunidad para mejorar la eficiencia en el uso de recursos y reducir el impacto ambiental de la producción ganadera en la región. La promoción de prácticas más sostenibles, como el compostaje, podría ser clave para abordar estos desafíos y garantizar la viabilidad a largo plazo de la ganadería en la región.

### **6.1.2 Análisis de una unidad de producción ganadera de bovinos.**

En este capítulo se presentan los resultados de un estudio observacional llevado a cabo en la unidad de producción pecuaria "La Mora" (Figura 14), dedicada a la ganadería de engorda, situada en el municipio de Amealco de Bonfil, Querétaro, cerca de la cabecera municipal (20°12'17.2"N 100°09'26.7"W).

**Figura 14.** Unidad de producción pecuaria "La Mora".



Fuente: Guzmán, 2023.

La infraestructura de "La Mora" ha sido diseñada para satisfacer las necesidades tanto de la ganadería como de las actividades agrícolas que se desarrollan en la

unidad. En cuanto a los corrales, la unidad cuenta con tres espacios destinados para el ganado, aunque estos carecen de techos, lo que representa un desafío durante la temporada de lluvias. Además, la unidad dispone de una caballeriza y un área exclusiva para la preparación de alimentos, donde se mezclan, procesan y almacenan los forrajes y el maíz destinados a la alimentación del ganado. Algunos de los insumos se guardan en tambores metálicos herméticos, lo que permite mantener su frescura y protegerlos de factores externos.

Para facilitar las labores en el campo y los corrales, "La Mora" cuenta con equipos básicos, como un remolque y un tractor, que optimizan los procesos de transporte y trabajo agrícola. En términos de tecnología, la unidad ha implementado un sistema adaptado para el llenado de contenedores de agua, lo cual permite un uso eficiente de los recursos y garantiza que el ganado tenga acceso continuo a agua potable. Asimismo, se ha recurrido al alquiler de equipos especializados, como molinos y drones (Figura 15), para realizar tareas específicas como el procesamiento de alimentos y la fertilización de los campos de cultivo.

**Figura 15.** Dron alquilado para servicio de fumigación de parcela.



Fuente: Guzmán, 2023.

La “Mora” está administrada de manera *familiar*, conformada por el padre y su hijo, quienes se enfocan principalmente en la administración de los insumos necesarios para operar la unidad, incluyendo la compra y venta del ganado, así como la gestión de relaciones con los proveedores locales de alimentos. Además, se encargan de monitorear la salud y el peso de los bovinos de engorda para asegurar su óptimo desarrollo y rendimiento. Los trabajadores, por su parte, realizan tareas relacionadas con la alimentación y la preparación de la alimentación para el ganado, así como la limpieza de las instalaciones. También apoyan en la preparación de la siembra del maíz, así como en las labores de siembra y cosecha.

La unidad se especializa en la cría y engorda de ganado bovino y combina esta actividad con el cultivo de maíz, lo que fortalece su autosuficiencia alimentaria. Actualmente, “La Mora” alberga 39 cabezas de ganado, con razas como *Hereford*, *Angus*, *Simmental* y *Charolais* (Figura 16).

**Figura 16.** Ganado bovino en corrales, “La Mora”.



Fuente: Guzmán, 2023.

En cuanto a la alimentación del ganado, se utiliza una combinación de henolaje y ensilaje, dependiendo de la disponibilidad de cada uno. El henolaje se compra a través de proveedores locales, principalmente en el municipio de Pedro Escobedo, y se transporta a la unidad mediante un remolque. Este forraje es utilizado cuando el

ensilaje no está disponible o no es suficiente para cubrir las necesidades alimenticias del ganado. Por otro lado, el ensilaje se produce dentro de la unidad a base de rastrojo de maíz, un subproducto generado por la siembra de maíz en la misma unidad. La preparación del ensilaje requiere agrupar el rastrojo en una superficie amplia dentro del terreno, donde se cubre con plástico y llantas para sellarlo, permitiendo una fermentación controlada y asegurando que se mantenga en condiciones óptimas. Este proceso permite producir un alimento nutritivo y energético que se utiliza principalmente para alimentar a las vacas (Figura 17) En este sentido, la combinación de henolaje comprado y ensilaje producido en la unidad permite a los administradores de “La Mora” mantener una fuente constante de nutrición de alta calidad para el ganado, adaptándose a las condiciones de disponibilidad de recursos en cada momento.

**Figura 17.** Producción de ensilaje de maíz.



Fuente: Guzmán, 2023.

El cultivo de maíz representa otra fuente de ingreso para la unidad, ya que, a través de la venta del maíz, se generan subproductos que son de gran utilidad. Entre estos subproductos se encuentran las pacas de maíz que se almacenan al aire libre y se protegen con plástico. Sin embargo, este método de almacenamiento presenta

desafíos, especialmente durante la temporada de lluvias, lo que resalta la necesidad de optimizar las prácticas de conservación para asegurar la calidad y disponibilidad de los alimentos a lo largo del tiempo. Estas pacas de maíz seco no solo se destinan para uso interno dentro de la unidad, sino que también se comercializan con ganaderos locales (Figura 18).

**Figura 18.** Producción de pacas de maíz.



Fuente: Guzmán, 2023.

Un hallazgo interesante respecto a las estrategias de alimentación utilizadas en la unidad fue que, debido a la sequía, la unidad decidió no vender la cosecha de maíz del otoño de 2022 y almacenarla para asegurar la alimentación de su ganado durante el próximo año. Como parte de esta estrategia, en marzo de 2023 se implementó un proyecto de germinados de maíz (Figura 19) con el objetivo de reducir los costos de alimentación. Los administradores, de manera autodidacta, se capacitaron a través de videos de la plataforma de YouTube para aprender las técnicas de producción de germinados (Figura 20) A pesar de la inversión en un sistema casero, el proyecto se suspendió tras seis meses, debido al intenso trabajo de monitoreo y manejo que requería.

**Figura 19.** Modelo casero de maíz germinado implementado en “La Mora”.



Fuente: Guzmán, 2023.

**Figura 20.** Lavado de grano de maíz.



Fuente: Guzmán, 2023.



Este esfuerzo refleja una tendencia dentro de la unidad a experimentar con métodos innovadores, aunque adaptados a las condiciones locales y la disponibilidad de insumos, para reducir los costos de alimentación y aumentar la autosuficiencia en la nutrición del ganado

En lo que respecta al manejo del estiércol, se emplea como fertilizante natural en la temporada de siembra, dispersándolo en los campos. Fuera de temporada, se acumula en montones al aire libre (Figura 21).

**Figura 21.** Montículo de estiércol.



Fuente: Guzmán, 2023.

El estudio observacional realizado en la unidad de producción "La Mora" refleja los esfuerzos constantes de la familia administradora para integrar prácticas ganaderas y agrícolas de manera eficiente, a pesar de los retos inherentes a su entorno. A través de la combinación de la ganadería de engorda con el cultivo de maíz, la unidad ha logrado crear un modelo productivo que busca asegurar la autosuficiencia en la alimentación del ganado, enfrentando desafíos como la sequía y las complicaciones climáticas que afectan el almacenamiento de la cosecha. Además, las estrategias implementadas para el manejo del ganado, como la utilización de forrajes, henolaje y ensilaje, demuestran un enfoque flexible y adaptativo, basado en los recursos disponibles y las condiciones locales.

Aunque algunos proyectos, como el de los germinados de maíz, fueron suspendidos por las dificultades logísticas, la unidad sigue buscando alternativas innovadoras para mejorar la sostenibilidad y eficiencia de sus procesos. La infraestructura básica de la unidad, junto con la tecnología adaptada para optimizar el uso de recursos, ha permitido a "La Mora" mantenerse operativa. Este análisis subraya la importancia de la innovación, la adaptabilidad y la gestión estratégica de los recursos en la ganadería.

## 6.2 Revisión y análisis de la literatura

A continuación, se exponen los resultados obtenidos del análisis sobre la producción de lenteja de agua, provenientes de la revisión detallada de diez publicaciones científicas (Tabla 9).

**Tabla 9.** Producción de lenteja de agua bajo diferentes condiciones experimentales.

Localización	Fuente de nutrientes	Especie	Condiciones del experimento	Duración	Fuente
Reino Unido	Purín de ganado (Mezcla de excremento de los animales, orina, agua y alimento).	<i>Lemna minor</i>	Contenedores de 1 m <sup>3</sup> , cubiertos con una lámina acrílica transparente de 4mm. Dos tratamientos, un control con purín diluido 1:20 sin alteración del pH y otro en el que se ajustó el pH a 7 con ácido sulfúrico.	40 días	Jones et al. (2023)
Suiza	Purín de ganado (Mezcla de excrementos de los animales, orina, agua y alimento).	<i>Spirodela polyrhiza</i> y <i>Landoltia punctata</i> .	En invernadero. Sistemas de recirculación con dimensiones internas: 0,365 m * 0,27 m * 0,165 m, llenos a 4 L. Para los experimentos, utilizaron cinco diferentes diluciones de agua de estiércol resultando en los tratamientos 1:20, 1:10, 1:8, 1:6 y 1:4.	28 días	Stadtlander et al. (2022)
Malaysia	Abono multipropósito y solución de nitrógeno, fosfato, potasio (N: P: K).	<i>Lemna minor</i> y <i>Wolffia globosa</i> .	Contenedor de 70 L con superficie 0,55 m * 0,88 m, bajo escudo. 1 kg de abono multiuso y 5 L de fertilizante N: P: K (por semana).	24 días	Yahaya et al. (2022)
Alemania	Fracción líquida y el efluente biológico de un sistema de tratamiento de estiércol porcino diluido con agua de lluvia	<i>Lemna minor</i>	Contenedores de 1000 L cúbicos. La concentración de nitrógeno (N) y fósforo (P) utilizada en el medio de cultivo fue de 33 mg kg <sup>-1</sup> de N y 11 mg kg <sup>-1</sup> de P, con una relación N/P de 3.0.	69 días	Devlamynck et al. (2021).

<b>Estados Unidos</b>	Aguas residuales de un sistema de tratamiento.	<i>Lemna minor</i> y <i>Wolffia columbiana</i>	Bandejas (1,15 m * 0,33 m) Profundidad: 0,10 m.	120 días	<i>Roman et al. (2019).</i>
<b>India</b>	Fertilizantes inorgánicos y abonos inorgánicos (estiércol de ganado, excremento de aves y torta de mostaza)	<i>Lemna minor</i>	Tanques cementados (1,2 * 0,35 m) al aire libre. Profundidad: 0,30 m. Se utilizaron a razón de 1,052 y 2.104 Kg/m3.	30 días	<i>Chakrabarti et al. (2018).</i>
<b>India</b>	Aguas residuales	<i>Lemna gibba</i>	Recipientes circulares de plástico (0,15 m de radio) Profundidad: 0,135 m. Cada recipiente experimental se llenó con 2 L de un concentración específica. Las aguas residuales se diluyeron (0%, 25%, 50% y 75%) usando agua destilada.	10 días	<i>Verma et al. (2014).</i>
<b>Indonesia</b>	Estiércol de ganado bovino, pollo y ganado de leche	<i>Lemna minor</i>	Contenedores circulares con una superficie de 0,12 m2. Profundidad no especificada. El estiércol se mezcló con 30 L de agua del grifo en un medio triplicado concentración de 0g/l, 5g/l y 10 g/l.	14 días	<i>Gena et al. (2013).</i>
<b>Vietnam</b>	Estiércol de vaca crudo y efluentes de biodigestores.	<i>Lemna minor</i>	Cestas de plástico forradas con película plástica. La superficie de agua en cada cesta era de 0,16 m2 con 0,10 m de profundidad, volumen de 16 litros. Cada fertilizante se utilizó en cinco tratamientos equivalentes a niveles de N de 0, 50, 100, 150 y 200 kg/ha.	20 días	<i>Kaensombath et al. (2004).</i>
<b>Vietnam</b>	Estiércol de cerdos y bovinos y efluentes de biodigestores.	<i>Lemna spp.</i>	Cestas de plástico forradas con película plástica. La superficie del agua en cada cesta tenía un área de 0,145 m <sup>2</sup> y con 0,10 m de profundidad. Se agregaron diariamente estiércol y efluente en cantidades calculadas para mantener los niveles de nitrógeno del estanque en aproximadamente 10, 20 y 30 mg/L.	24 días	<i>Chau (1998).</i>

Fuente: Elaboración propia (Guzmán, 2024).

La información anterior muestra un resumen de experimentos en diferentes países que investigan la producción de lenteja de agua bajo diversas condiciones utilizando distintas fuentes de nutrientes. Las especies de lenteja de agua varían, pero incluyen comúnmente a *Lemna minor* y otras especies como *Lemna gibba*, *Spirodela polyrhiza* y *Wolffia globosa*. Las condiciones del experimento abarcan varios factores, como el tipo de contenedor, la profundidad del agua, la concentración de nutrientes y las condiciones de iluminación. La duración de los experimentos también varía, desde 10 días hasta 120 días, reflejando diferentes periodos de estudio para la producción de biomasa o la eficacia de la depuración de nutrientes. Además, se observa que se han realizado ajustes específicos en las concentraciones de nitrógeno y fósforo en las soluciones de crecimiento para optimizar el crecimiento de la lenteja de agua. Se han utilizado diferentes diluciones de estiércol y aguas residuales. Esto implica que la lenteja de agua no solo es útil para la producción de biomasa, sino también para la mejora de la calidad del agua, actuando como un agente de limpieza natural en sistemas de tratamiento de aguas residuales. Además, se puede intuir que la lenteja de agua se adapta bien a una amplia gama de condiciones climáticas, lo que la hace viable para la implementación en múltiples regiones geográficas y climas.

### **6.3 Desarrollo del modelo experimental *alfa*.**

#### **6.3.1 Recolección de materiales biológicos**

A través del acompañamiento del Consejo Consultivo del Agua del Estado de Querétaro, se lograron identificar dos estanques con proliferación de lenteja de agua en los municipios de Corregidora y El Marqués, en el Estado de Querétaro. La recolección de la biomasa se llevó a cabo en el estanque ubicado en Santa Bárbara, El Pueblito, Querétaro (20°30'52.2"N 100°25'47.3"W) durante el mes de octubre de 2023 (Figura 22). La planta fue identificada con base en sus características morfológicas como lenteja de agua perteneciente al género *Lemna* de la especie *Gibba*, la cual se distingue por tener un tejido esponjoso. Además, la biomasa fue enjuagada con agua declorada de grifo, como parte de los protocolos de preparación para su uso en la investigación.

**Figura 22.** Punto de recolección de *Lemna gibba* en El Pueblito, Querétaro.



Fuente: Guzmán, 2023.

Por otra parte, el estiércol de bovino utilizado fue recolectado directamente de los corrales de la unidad de producción pecuaria seleccionada para la implementación del experimento. El estiércol es almacenado en montañas por el personal en un área específica junto a los corrales. Para garantizar la calidad del estiércol seleccionado, se optó por aquel que había estado expuesto al sol durante un periodo de seis meses y que se encontraba completamente deshidratado. Además, el estiércol fue molido y cernido (Figura 23) antes de ser utilizado en los tratamientos experimentales, asegurando una distribución más uniforme y un mejor manejo del material.

**Figura 23.** Estiércol molido y cernido.



Fuente: Guzmán, 2023.

Este enfoque tuvo como propósito evaluar el crecimiento de la lenteja de agua en condiciones reales, donde se pretende introducir el diseño del modelo productivo final, lo que permite distinguir la experimentación de este proyecto de investigación de aquellas que se han realizado en entornos controlados de laboratorio.

### 6.3.2 Puesta en marcha del modelo experimental alfa

De acuerdo con el análisis documental realizado en la etapa de investigación anterior, se determinaron las condiciones de un modelo experimental *alfa*, para lo cual se establecieron cuatro tratamientos experimentales, detallados en la tabla 10, que incluyeron cuatro concentraciones diferentes de estiércol de bovino: 0 g/L, 2 g/L, 4 g/L y 8 g/L. Cada tratamiento tuvo tres réplicas (A, B y C). Antes de la inoculación de *Lemna gibba*, se otorgó un período de 5 días para establecer condiciones basales de los contenedores, posteriormente, se introdujeron 20 gr. de biomasa en cada contenedor.

**Tabla 10.** Tratamientos experimentales. Modelo *alfa*.

Tratamiento	Concentración de Estiércol (g/L)	Cantidad de estiércol inicial (g)
<b>T1</b>	0	0
<b>T2</b>	2	84
<b>T3</b>	4	168
<b>T4</b>	8	336

Fuente: Elaboración propia (Guzmán, 2024).

El experimento se llevó a cabo en la unidad de producción ganadera “La Mora”, situada en el municipio de Amealco de Bonfil, Querétaro (20°12'17.2"N 100°09'26.7"W). En donde se seleccionó un área específica dentro de las instalaciones, que no interfiriera con las prácticas ganaderas habituales, asegurando así la operación normal del lugar mientras se desarrollaba la investigación (Figura 24). Para el experimento, se utilizaron contenedores plásticos de 0,37 m x 0,60 m, cubriendo un área de 0,222 m<sup>2</sup>. Se llenaron con agua potable del grifo hasta una profundidad constante de 0,20 m, resultando un volumen total de agua de 42 L.

Durante el período de experimentación, las variables medidas incluyeron el peso fresco semanal de la lenteja de agua y la concentración inicial de estiércol. Sin

embargo, en cuanto a la calidad del agua, no se monitorearon variables como la temperatura del agua, los niveles de nitrógeno, fósforo, metales pesados ni la conductividad. En relación con las plantas, no se midieron el tamaño de la fronda ni la longitud de la raíz. El estudio se complementó con fotografías semanales que permitieron recabar evidencia cualitativa del crecimiento superficial de la planta en los contenedores.

**Figura 24.** Área de experimentación. Modelo *alfa*.



Fuente: Guzmán, 2023.

Se tomó la decisión de cubrir cada uno de los contenedores con malla de nylon, una medida que no se había previsto inicialmente. La tela protectora se sujetaba a los contenedores mediante pinzas de plástico y permaneció en su lugar durante todo el periodo experimental, retirándose únicamente para realizar las mediciones semanales del peso fresco de la biomasa.

Para medir el peso fresco de *Lemna gibba* en cada tratamiento, se implementó un procedimiento en el que, utilizando coladores plásticos (como se muestra en la Figura 25), las muestras se drenaban durante cinco minutos para eliminar el exceso de agua. Posteriormente, el peso fresco se determinaba mediante el uso de una báscula digital, asegurando precisión en las mediciones. Adicionalmente, a partir de la fecha de inicio del experimento, cada diez días se realizaba una fertilización adicional, incorporando

una cuarta parte de la dosis inicial de estiércol en los contenedores para nutrir nuevamente el sistema. Cabe mencionar que los pesos frescos no fueron registrados en las semanas siete, nueve y once, debido a que en esos periodos no fue posible ingresar a la finca. El experimento se desarrolló a lo largo de un periodo total de doce semanas.

**Figura 25.** Registro de peso fresco de la biomasa, semana 4, tratamiento T1, replica C.



Fuente: Guzmán, 2023.

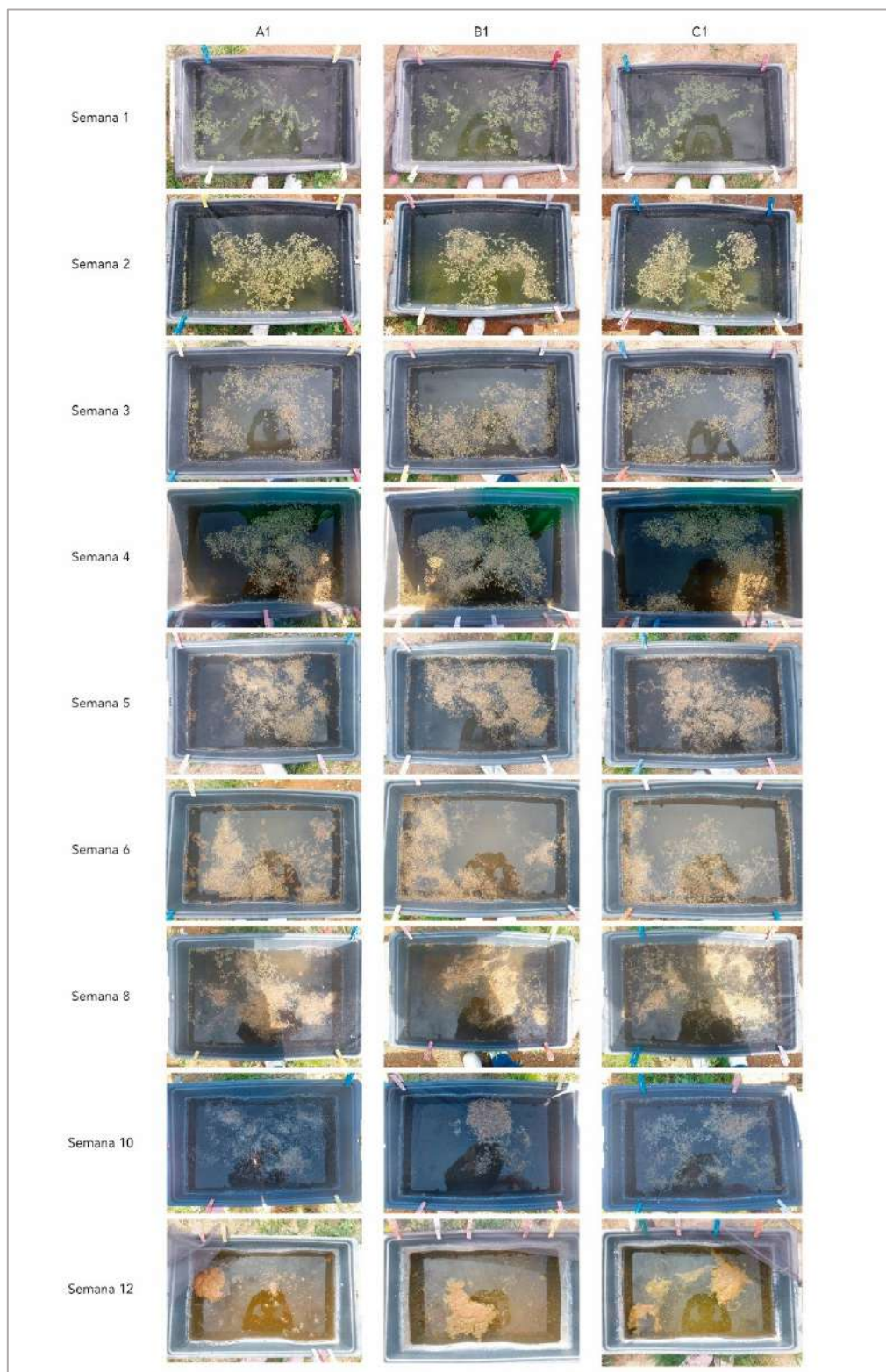
### **6.3.3 Evidencia fotográfica modelo alfa.**

A continuación, se presentan las imágenes correspondientes a cada uno de los tratamientos experimentales y sus réplicas (Figuras 26, 27, 28 y 29), las cuales fueron tomadas semanalmente desde el inicio del experimento, con el fin de documentar visualmente el desarrollo de la planta de *Lemna gibba* a lo largo del período experimental, el cual tuvo una duración de doce semanas.

Estas fotografías proporcionan un registro visual detallado de la evolución de los tratamientos con diferentes concentraciones de estiércol, permitiendo observar las variaciones en el crecimiento de la planta bajo las condiciones establecidas para cada tratamiento. Es importante señalar que, debido a circunstancias imprevistas, no fue posible capturar imágenes durante las semanas siete, nueve y once del experimento.

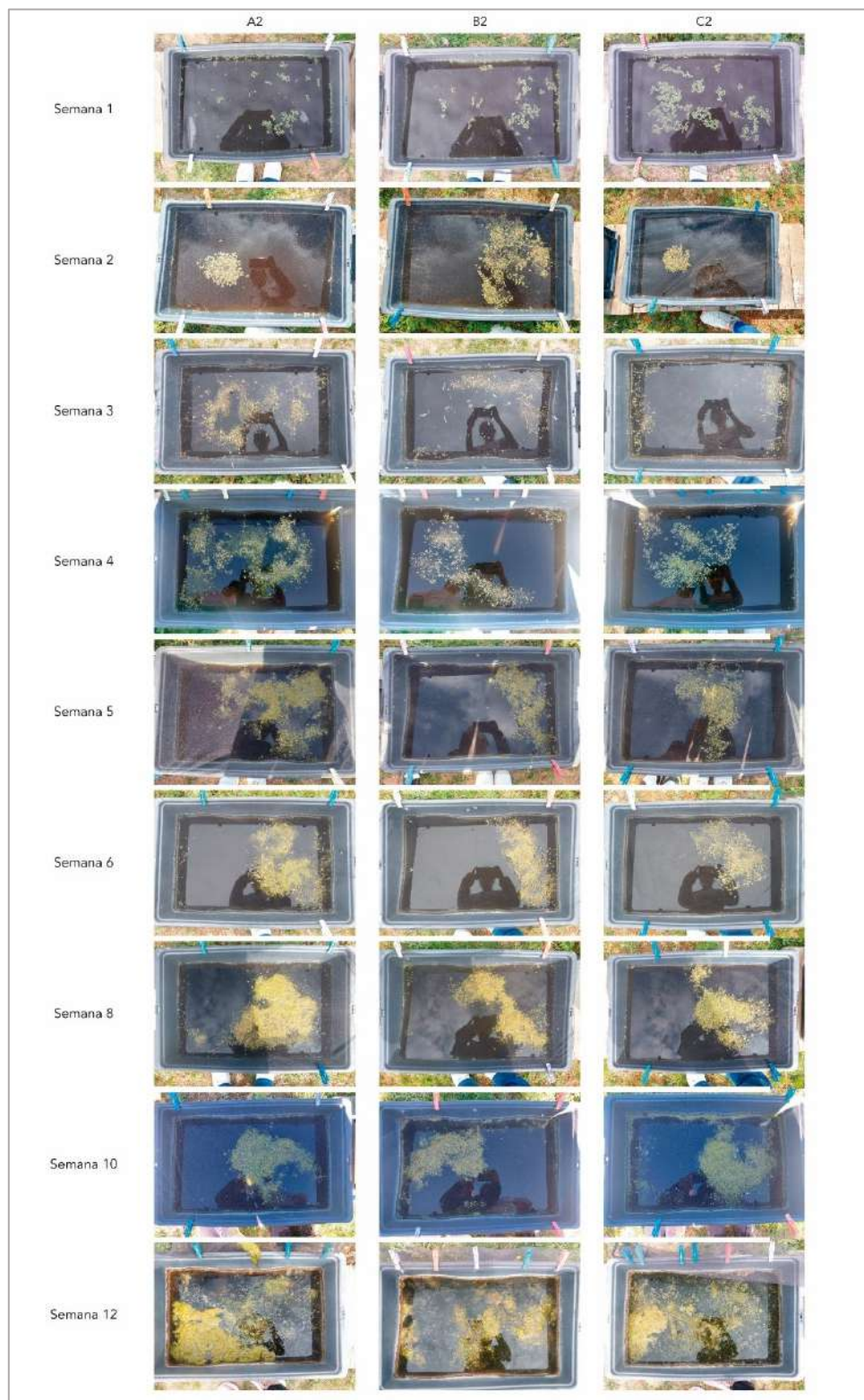


**Figura 26.** Evolución de crecimiento de lenteja de agua en T1, modelo *alfa*.



Fuente: Elaboración propia (Guzmán, 2024).

**Figura 27.** Evolución de crecimiento de lenteja de agua en T2, modelo *alfa*.



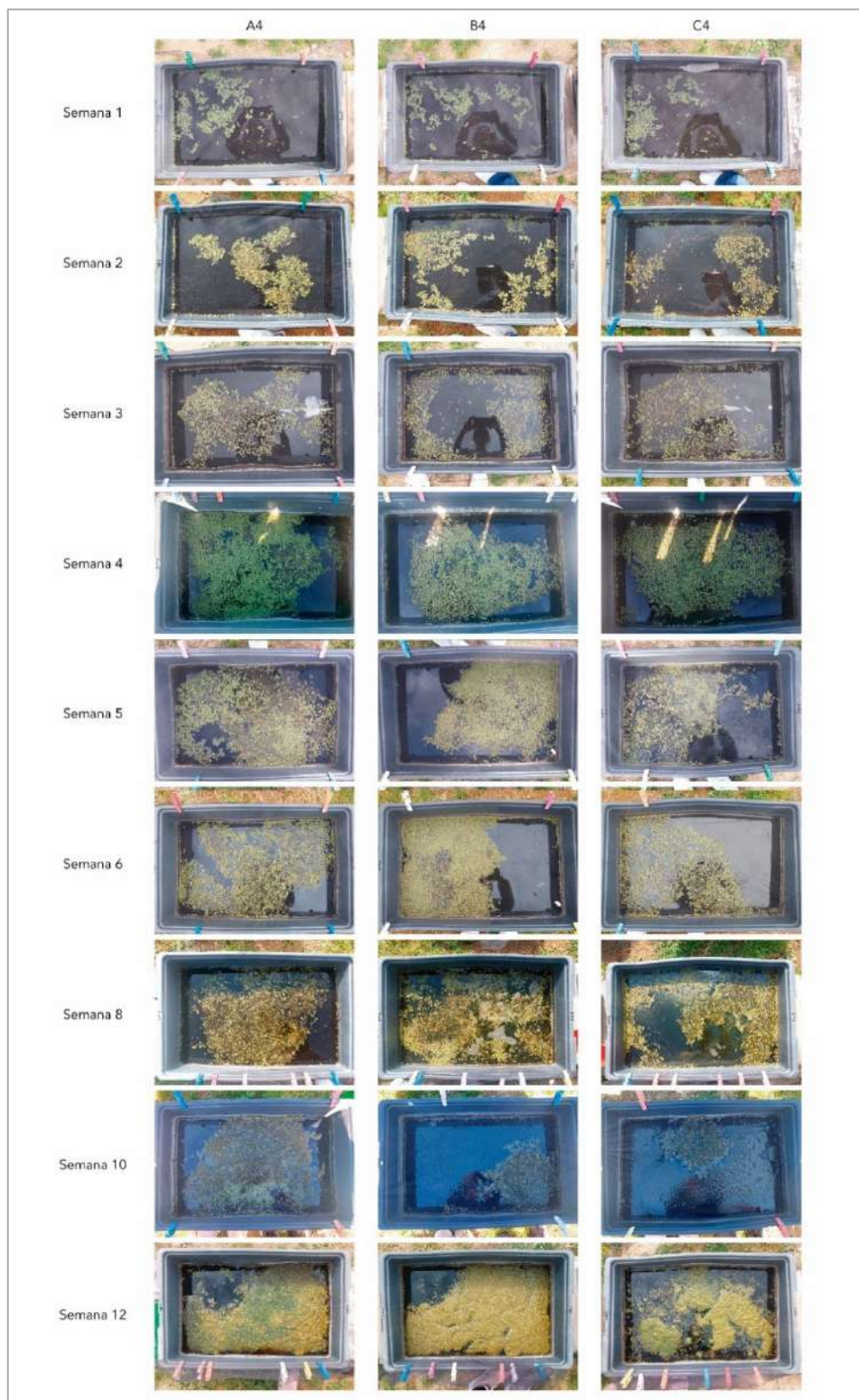
Fuente: Elaboración propia (Guzmán, 2024).

**Figura 28.** Evolución de crecimiento de lenteja de agua en T3, modelo *alfa*.



Fuente: Elaboración propia (Guzmán, 2024).

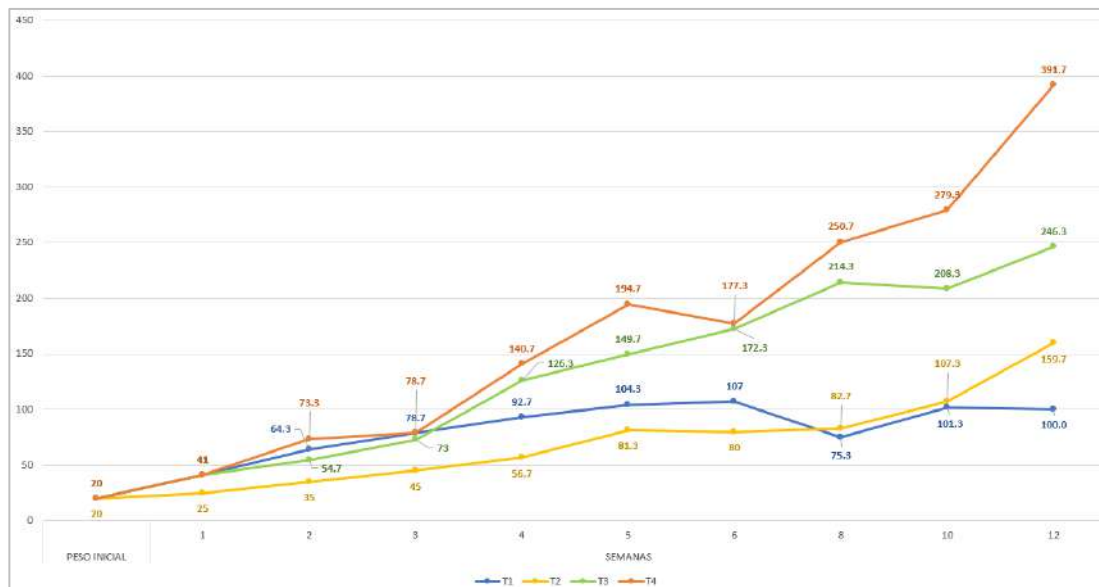
**Figura 29.** Evolución de crecimiento de lenteja de agua en T4, modelo *alfa*.



Fuente: Elaboración propia (Guzmán, 2024).

La Figura 30 presenta el promedio del peso fresco de las tres réplicas correspondientes a cada uno de los cuatro tratamientos. Esta representación gráfica proporciona una comparación visual clara de cómo cada tratamiento influyó en el crecimiento de la biomasa a lo largo del periodo de estudio, destacando diferencias y tendencias significativas entre los tratamientos aplicados.

**Figura 30.** Resultados del peso fresco semanal de los tratamientos experimentales.



Fuente: Elaboración propia (Guzmán, 2024) Para evaluar el efecto de distintas concentraciones de estiércol en el crecimiento de lenteja de agua (*Lemna gibba*), que van de T1 a T4, mostrando una gama de concentraciones de estiércol de 0 a 8 gramos por litro.

Durante la realización del modelo experimental realizado en la unidad de producción pecuaria “La Mora” en el municipio de Amealco de Bonfil para evaluar el impacto de distintas concentraciones de estiércol en el crecimiento de *Lemna gibba*, se presentó un fenómeno inesperado a partir de la quinta semana de investigación: la contaminación por algas. Este evento desencadenó una competencia biológica por los recursos, lo que afectó el crecimiento de la lenteja de agua. Dada esta interferencia, se tomó la decisión metodológica de acotar el análisis estadístico a los datos recolectados durante las primeras cuatro semanas, antes de que la presencia de algas pudiera influir en el desarrollo del experimento.

### 6.3.4 Análisis estadístico de datos, modelo experimental *alfa*

Los datos fueron procesados y analizados utilizando el software *MINITAB*, aplicando la técnica *ANOVA* y pruebas *post-hoc de Tukey* para identificar diferencias significativas entre los tratamientos. Los datos de todos los tratamientos y sus réplicas fueron procesados y analizados semanalmente desde la semana 1 hasta la semana 4 de forma separada, obteniéndose así los siguientes resultados

**Tabla 11.** Análisis de Varianza (ANOVA) “Semana 1”. Modelo *alfa*.

Fuente	GL	SC Ajustada	Mc Ajustada	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	576.0	192.00	5.45	0.025
Error	8	282.0	35.25		
Total	11	850.0			

*SC= Suma de cuadrados ajustada | MC = Media de cuadrados*  
Fuente: Elaboración propia (Guzmán, 2024) Datos arrojados por MINITAB 21

**Tabla 12.** Medias “Semana 1”. Modelo *alfa*.

Tratamiento	N	Media	Desviación estándar	IC de 95%
T1	3	41.00	0.00	(33.10, 48.90)
T2	3	25.00	8.66	(17.10, 32.90)
T3	3	41.00	1.73	(33.10, 48.90)
T4	3	41.00	7.94	(33.10, 48.90)

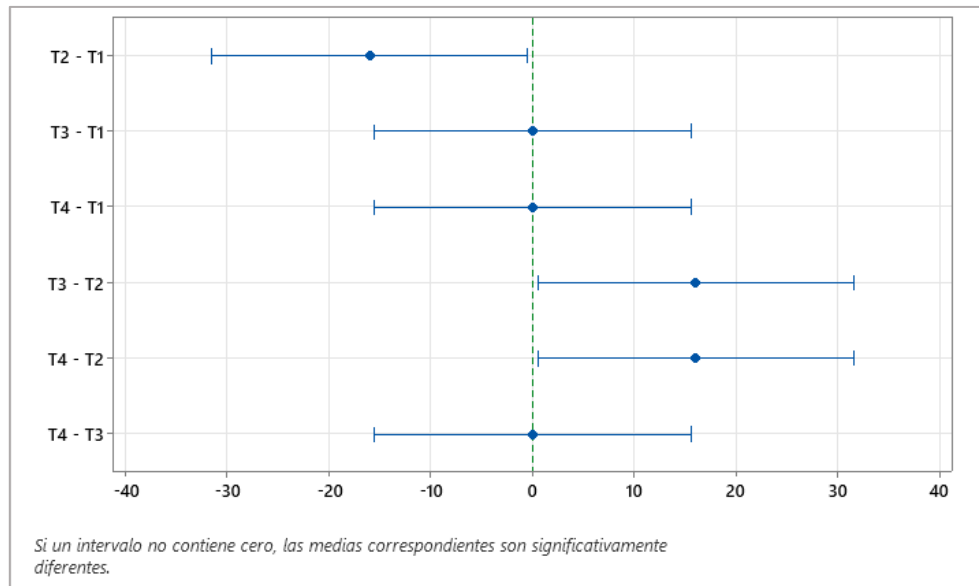
*IC = Intervalo de confianza | Desviación estándar agrupada = 5.93717*  
Fuente: Elaboración propia (Guzmán, 2024) Datos arrojados por MINITAB 21

**Tabla 13.** Comparaciones en parejas de Tukey. “Semana 1”. Modelo *alfa*.

Tratamiento	N	Media	Agrupación
T4	3	41.00	A
T3	3	41.00	A
T1	3	41.00	A
T2	3	25.00	B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes*  
Fuente: Elaboración propia (Guzmán, 2024) Datos arrojados por MINITAB 21

**Figura 31.** Diferencia de las medias para semana 1. Modelo *alfa*.



Fuente: Elaboración propia (Guzmán, 2024) Datos arrojados por MINITAB 21

**Tabla 14.** Análisis de Varianza (ANOVA) “Semana 2”. Modelo *alfa*.

Fuente	GL	SC Ajustada	Mc Ajustada	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	2430	809.9	5.77	0.021
Error	8	1122	140.2		
Total	11	3552			

SC= Suma de cuadrados ajustada | MC = Media de cuadrados

Fuente: Elaboración propia (Guzmán, 2024) Datos arrojados por MINITAB 21

**Tabla 15.** Medias “Semana 2”. Modelo *alfa*.

Tratamiento	N	Media	Desviación estándar	IC de 95%
T1	3	64.33	2.08	(48.57, 80.10)
T2	3	35.00	14.18	(19.23, 50.77)
T3	3	54.67	5.13	(38.90, 70.43)
T4	3	73.3	18.1	(57.6, 89.1)

IC = Intervalo de confianza | Desviación estándar agrupada = 11.8427

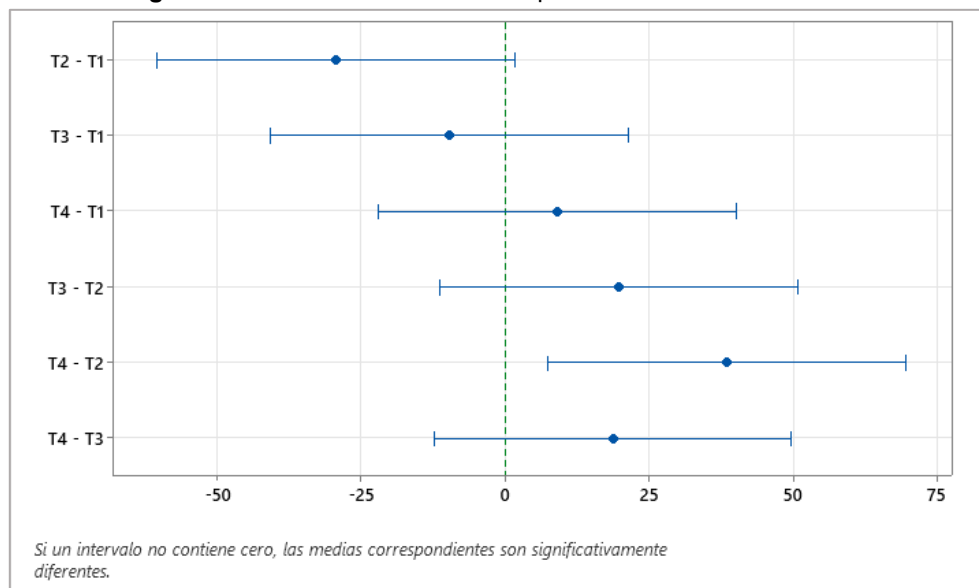
Fuente: Elaboración propia (Guzmán, 2024) Datos arrojados por MINITAB 21

**Tabla 16.** Comparaciones en parejas de Tukey. "Semana 2". Modelo *alfa*.

Tratamiento	N	Media	Agrupación	
T4	3	73.3	A	
T1	3	64.33	A	B
T3	3	54.67	A	B
T2	3	35.00		B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes*  
 Fuente: Elaboración propia (Guzmán, 2024) Datos arrojados por MINITAB 21

**Figura 32.** Diferencia de las medias para "Semana 2". Modelo *alfa*.



Fuente: Elaboración propia (Guzmán, 2024) Datos arrojados por MINITAB 21

**Tabla 17.** Análisis de Varianza (ANOVA) "Semana 3". Modelo *alfa*.

Fuente	GL	SC Ajustada	Mc Ajustada	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	2336.3	778.78	9.01	0.006
Error	8	691.3	86.42		
Total	11	3027.7			

*SC= Suma de cuadrados ajustada | MC = Media de cuadrados*  
 Fuente: Elaboración propia (Guzmán, 2024) Datos arrojados por MINITAB 21



**Tabla 18.** Medias “Semana 3”. Modelo *alfa*.

Tratamiento	N	Media	Desviación estándar	IC de 95%
T1	3	78.67	7.23	(66.29, 91.04)
T2	3	45.00	15.10	(32.62, 57.38)
T3	3	73.00	3.61	(60.62, 85.38)
T4	3	78.67	7.23	(66.29, 91.04)

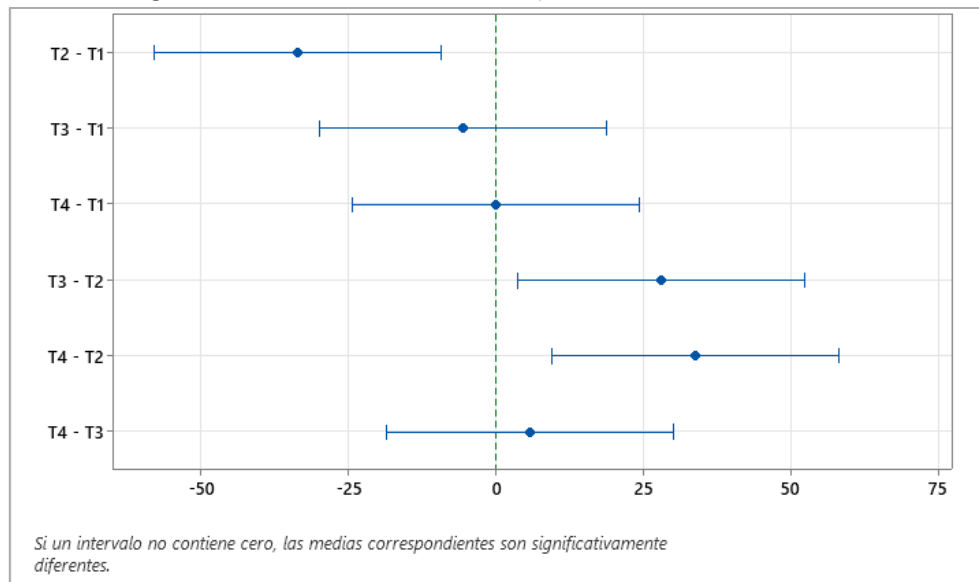
*IC = Intervalo de confianza | Desviación estándar agrupada =9.29606*  
 Fuente: Elaboración propia (Guzmán, 2024) Datos arrojados por MINITAB 21

**Tabla 19.** Comparaciones en parejas de Tukey. “Semana 3”. Modelo *alfa*.

Tratamiento	N	Media	Agrupación
T4	3	78.67	A
T1	3	78.67	A
T3	3	73.00	A
T2	3	45.00	B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes*  
 Fuente: Elaboración propia (Guzmán, 2024) Datos arrojados por MINITAB 21

**Figura 33.** Diferencia de las medias para “Semana 3”. Modelo *alfa*.



Fuente: Elaboración propia (Guzmán, 2024) Datos arrojados por MINITAB 21

**Tabla 20.** Análisis de Varianza (ANOVA) “Semana 4”. Modelo *alfa*.

Fuente	GL	SC	Mc	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	12636	4212.1	7.23	0.011
Error	8	4661	582.6		
Total	11	17297			

*SC= Suma de cuadrados ajustada | MC = Media de cuadrados*  
 Fuente: Elaboración propia (Guzmán, 2024) Datos arrojados por MINITAB 21

**Tabla 21.** Medias “Semana 4”. Modelo *alfa*.

Tratamiento	N	Media	Desviación estándar	IC de 95%
T1	3	92.67	10.07	(60.53, 124.80)
T2	3	56.7	28.1	(24.5, 88.8)
T3	3	126.33	11.59	(94.20, 158.47)
T4	3	140.7	36.1	(108.5, 172.8)

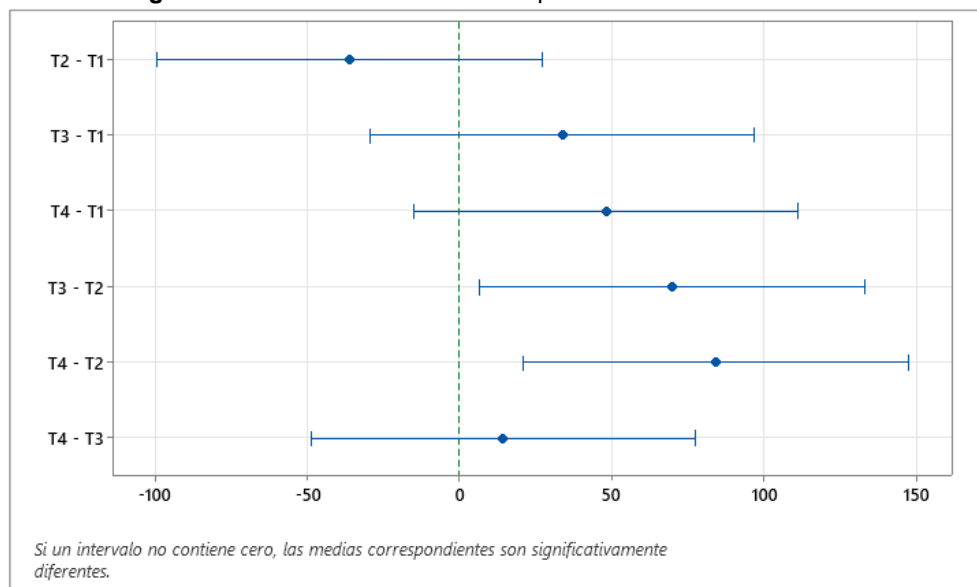
*IC = Intervalo de confianza | Desviación estándar agrupada =24.1368*  
 Fuente: Elaboración propia (Guzmán, 2024) Datos arrojados por MINITAB 21

**Tabla 22.** Comparaciones en parejas de Tukey. “Semana 4”. Modelo *alfa*.

Tratamiento	N	Media	Agrupación
T4	3	140.7	A
T3	3	126.33	A
T1	3	92.67	A B
T2	3	56.7	B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes*  
 Fuente: Elaboración propia (Guzmán, 2024) Datos arrojados por MINITAB 21

**Figura 34.** Diferencia de las medias para “Semana 4”. Modelo *alfa*.



Fuente: Elaboración propia (Guzmán, 2024) Datos arrojados por MINITAB 21

Con base en los resultados observados, los tratamientos respondieron de manera diferenciada a lo largo de las cuatro semanas, lo que sugiere que existen variaciones significativas en el crecimiento de *Lemna gibba* entre los tratamientos experimentales.

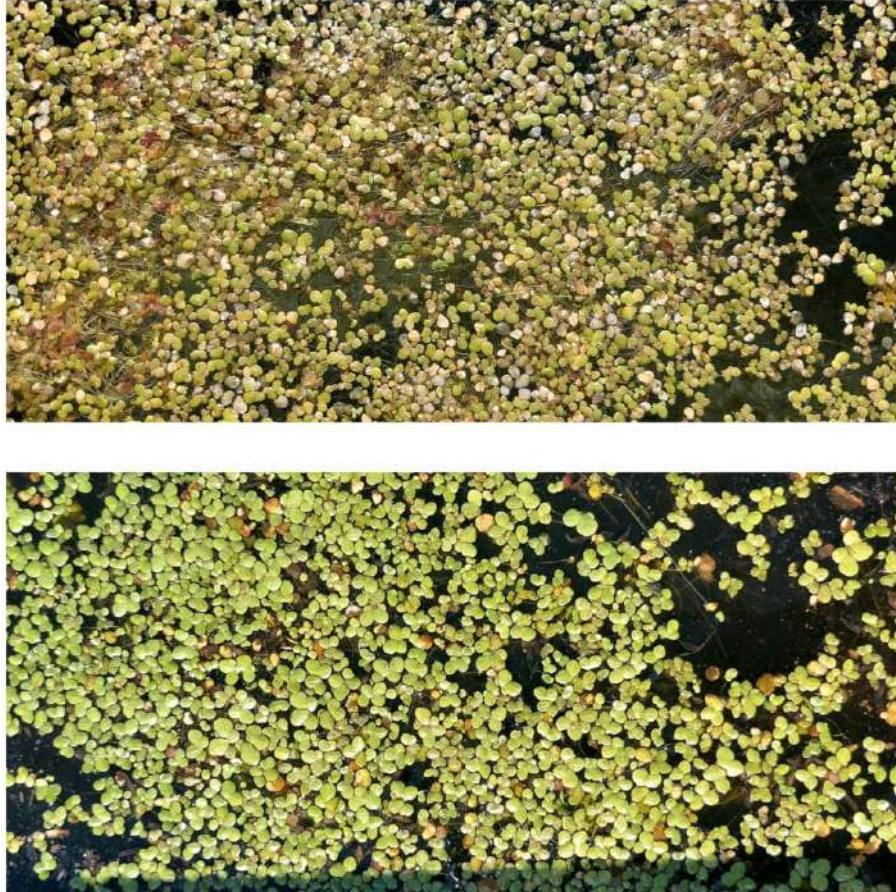
La hipótesis nula ( $H_0$ ) postula que las medias de crecimiento en cada tratamiento son iguales entre sí. Sin embargo, dado que esta hipótesis es rechazada, se acepta la hipótesis alternativa ( $H_1$ ), que sugiere que al menos una de las medias es diferente.

### 6.3.5 Hallazgos y conclusiones sobre modelo alfa

Para comenzar, se observó que la incorporación de estiércol como fertilizante tuvo un efecto significativo en el crecimiento de *Lemna gibba*. De acuerdo con la evidencia cualitativa (Figura 35) se registraron diferencias en el tamaño de la fronda y la coloración de la biomasa, siendo ambos mayores y más intensos en el tratamiento *T4* en comparación con *T1*, que fue el tratamiento de control. Además, la información cuantitativa mostró que las concentraciones más altas de estiércol, como en los tratamientos *T3* y *T4*, promovieron en general un aumento en el peso fresco de la biomasa en la semana 4, en comparación con el grupo control sin estiércol, *T1*. Estos resultados sugieren que el estiércol podría ser una fuente efectiva de nutrientes para

el crecimiento de la lenteja de agua, apoyando la hipótesis de que la fertilización contribuye positivamente a su desarrollo.

**Figura 35.** Contraste de características físicas de *Lemna gibba* en T1 y T4, semana 4.



Fuente: Guzmán, 2023.

No obstante, se observó que el tratamiento T2, con una dosis más moderada de estiércol, no mostró un desempeño consistente a lo largo de las mediciones semanales. Esta variabilidad en la respuesta al tratamiento subraya la importancia de evaluar las dosis de fertilizante para obtener resultados óptimos.

Además, la competencia por algas emergentes a partir de la quinta semana generó limitaciones en la validez de los datos recabados en fases posteriores del experimento. Este fenómeno inesperado resalta la importancia de considerar otros factores ambientales, como la presencia de algas, la temperatura, el tiempo transcurrido desde la recolección de la biomasa en el estanque hasta el momento de

sembrarla en los contenedores, y la exposición solar directa, ya que estos pueden influir en el crecimiento de la lenteja de agua y afectar la interpretación de los resultados. No obstante, los resultados indican que el tratamiento T4, con la concentración más alta de estiércol (8 gr/L), mostró un desempeño destacado

### 6.3.6 Desarrollo del modelo experimental *beta*

De acuerdo con las variaciones registradas en los resultados del modelo experimental *alfa*, se tomó la decisión de desarrollar un nuevo modelo experimental *beta*. Este modelo se caracteriza por un cambio en el material biológico utilizado (Figura 36), proveniente de un estanque ubicado en El Marqués (20°37'43.2"N 100°18'02.8"W).

**Figura 36.** Punto de recolección de *Lemna gibba* en el municipio de El Marqués, Qro.



Fuente: Guzmán, 2023.

La especie de lenteja de agua utilizada en este experimento se identificó mediante sus características morfológicas, las cuales permitieron determinar que se trataba de *Lemna gibba*. Posteriormente, tras la recolección de la biomasa, esta permaneció en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), Campus Centro Universitario (20°35'25.9"N 100°24'45.6"W) durante un período de cuatro meses previos al inicio del modelo experimental (Figura 37). Durante este tiempo, no se presentó la aparición de algas, y se realizó una cosecha de biomasa, la cual fue trasladada a otro recipiente para permitir que continuara su crecimiento.

**Figura 37.** Recolección de muestra de *Lemna gibba*.



Fuente: Guzmán, 2023.

Para este nuevo modelo experimental, se establecieron nuevas variables a monitorear, entre las que se incluyen el peso fresco semanal de la biomasa, el pH y la temperatura del agua. Además, se registró la temperatura ambiental utilizando la página web “*Meteored*”, garantizando un adecuado control de las condiciones climáticas durante el transcurso del experimento. La medición de la temperatura del agua y el pH se realizó mediante un medidor digital comercial de pH, marca *MULTIFUNCTION*, modelo *EZ-9909SP* (Figura 38).

**Figura 38.** Medidor digital comercial de pH.



Fuente: Guzmán, 2023.

El área de experimentación fue trasladada al municipio de San Juan del Río, Querétaro (20°22'56.4"N 99°59'18.9"W), y las actividades se llevaron a cabo en el mes de septiembre y octubre de 2024, durante la temporada de lluvias. El periodo de experimentación se extendió a lo largo de cinco semanas.

Se implementaron cambios significativos en los contenedores utilizados en el experimento. En lugar de los recipientes previos, se optó por albercas con un diámetro de 0.80 m y una altura de 0.25 m. Para proteger el crecimiento de la lenteja de agua, los contenedores fueron cubiertos con malla sombra, lo que permitió regular la exposición solar y prevenir el exceso de luz directa (Figura 39). La profundidad del agua se mantuvo constante durante el experimento, fijándose en 0.20 m, lo que resultó en una capacidad total de 28 litros por contenedor. Se utilizó agua de lluvia para llenar las albercas, y cualquier pérdida de agua por evaporación fue compensada con agua declorada de grifo.

**Figura 39.** Área de experimentación. Modelo *beta*.



Fuente: Guzmán, 2023.

Las concentraciones de estiércol empleadas en este nuevo modelo experimental se detallan en la Tabla 23. Cada tratamiento fue replicado tres veces, identificadas por la letra definida para cada tratamiento seguida de la numeración 1, 2 y 3. En los tratamientos con el número 3, es decir, A3, B3, C3 y D3, se instalaron bombas sumergibles para peceras con las siguientes características de voltaje de 110-120V/60Hz, potencia de 65W y caudal máximo de 3000L/h. Estas bombas se utilizaron para evaluar si el movimiento generado en el agua influía en el crecimiento de la biomasa.

**Tabla 23.** Tratamientos experimentales. Modelo *beta*.

Tratamiento	Concentración de Estiércol (g/L)	Cantidad de estiércol inicial (g)
<b>A</b>	0	0
<b>B</b>	8	224
<b>C</b>	16	448
<b>D</b>	24	672

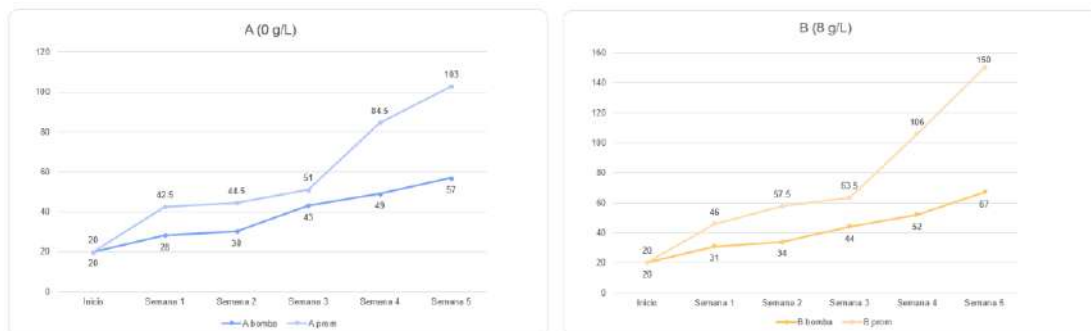
Fuente: Elaboración propia (Guzmán, 2024).

El estiércol utilizado en este experimento fue recolectado de la finca "La Mora", ubicada en el municipio de Amealco, con la cual ya se había colaborado previamente. Este estiércol había estado expuesto al sol durante un periodo de cinco meses y se encontraba completamente deshidratado. Posteriormente, fue cernido para asegurar su adecuado manejo. Tras la introducción de las concentraciones de estiércol en las albercas, se esperó un periodo de cinco días para permitir que las condiciones se estabilizaran antes de comenzar la evaluación del crecimiento. Se inocularon 20 gramos de *Lemna gibba* al inicio del experimento.

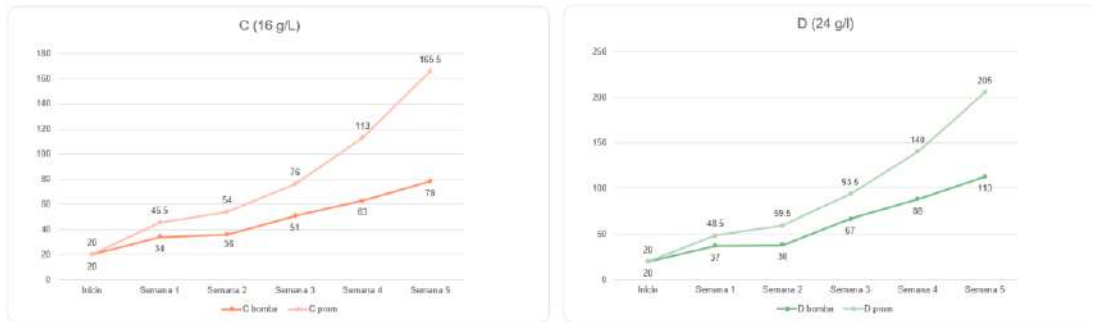
### 6.3.7 Monitoreo del crecimiento de la biomasa del modelo beta.

Los resultados fueron registrados y procesados utilizando *Microsoft Excel*. En la Figura 40, se presentan cuatro gráficos que ilustran el peso fresco de *Lemna gibba* a lo largo del período experimental, en cada uno de los tratamientos (A, B, C y D), en donde se muestra la evolución semanal del peso fresco de la biomasa.

**Figura 40.** Peso fresco semanal de la biomasa por tratamiento y sus réplicas. Modelo *beta*.





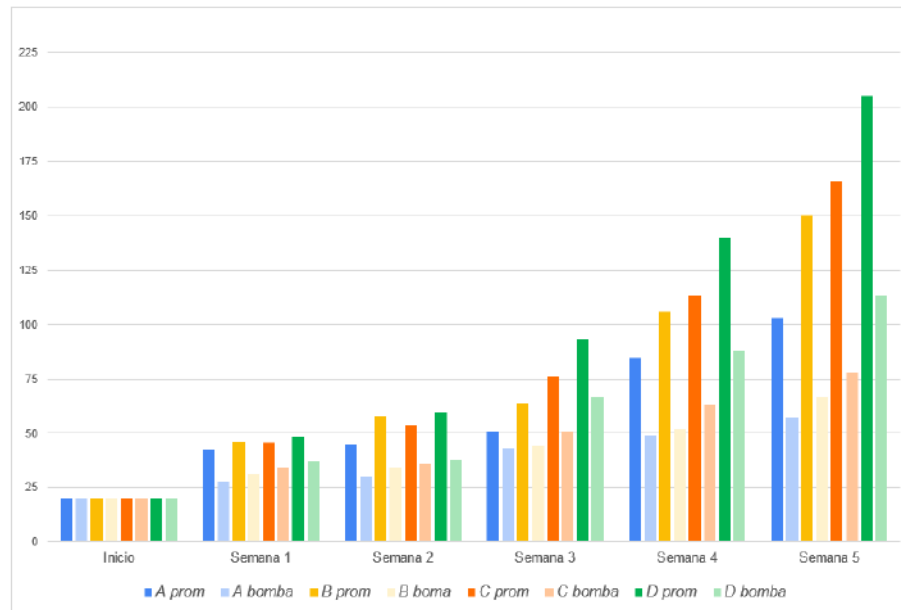


Fuente: Guzmán, 2023.

En cada uno de los tratamientos que incluyeron el uso de bombas sumergibles (A bomba, B bomba, C bomba y D bomba), se observó un desempeño inferior en comparación con el promedio de los contenedores que no contaron con este elemento a lo largo de las cinco semanas. Este comportamiento indica que el movimiento generado por las bombas no promovió el crecimiento de la biomasa en los tratamientos experimentales, en contraste con los grupos sin bombeo, donde el crecimiento fue superior.

La Figura 41 presenta un gráfico de barras que ilustra el peso fresco alcanzado por los diferentes tratamientos experimentales durante el periodo de evaluación.

**Figura 41.** Comparación general del peso fresco de la biomasa obtenida en el modelo *beta*.



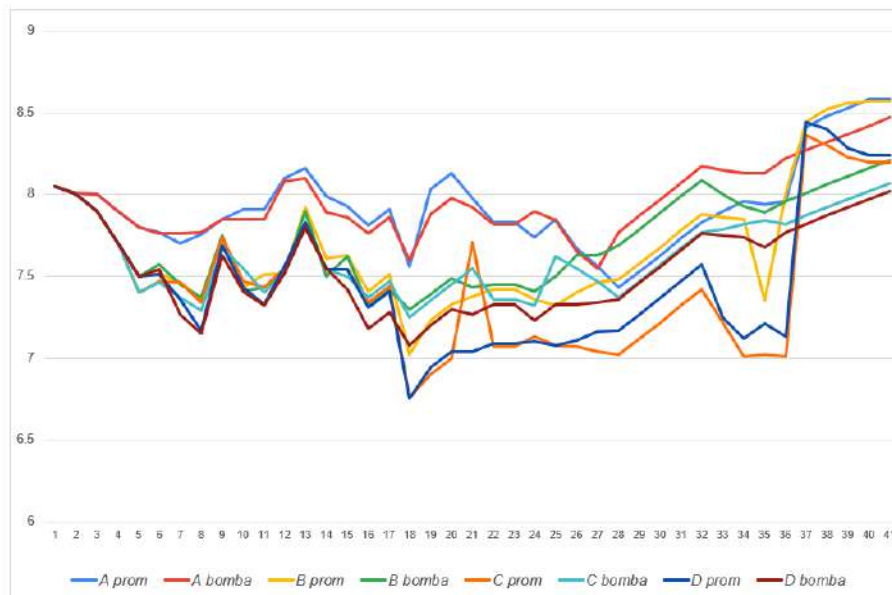
Fuente: Guzmán, 2023.

El tratamiento *D prom*, con la mayor concentración de estiércol de 24 g/L, mostró el mejor rendimiento al alcanzar un peso fresco final de 206 g sin bomba. Le siguieron los tratamientos *C prom* con 16 g/L, *B prom* con 8 g/L y *A prom*, utilizado como control sin estiércol, con pesos finales de 165.5 g, 150 g y 103 g, respectivamente. Estos resultados sugieren que una mayor concentración de estiércol favorece el crecimiento de la biomasa de *Lemna gibba*. En contraste, los tratamientos que utilizaron bombas sumergibles, *A bomba*, *B bomba*, *C bomba* y *D bomba*, presentaron un rendimiento inferior, con pesos frescos finales de 57 g, 67 g, 78 g y 113 g.

### 6.3.7 Registro de pH y temperatura

La figura 42 muestra los resultados del pH registrado diariamente durante todo el periodo de experimentación en cada uno de los tratamientos.

**Figura 42.** Registro diario de pH en el agua para los tratamientos del modelo *beta*.

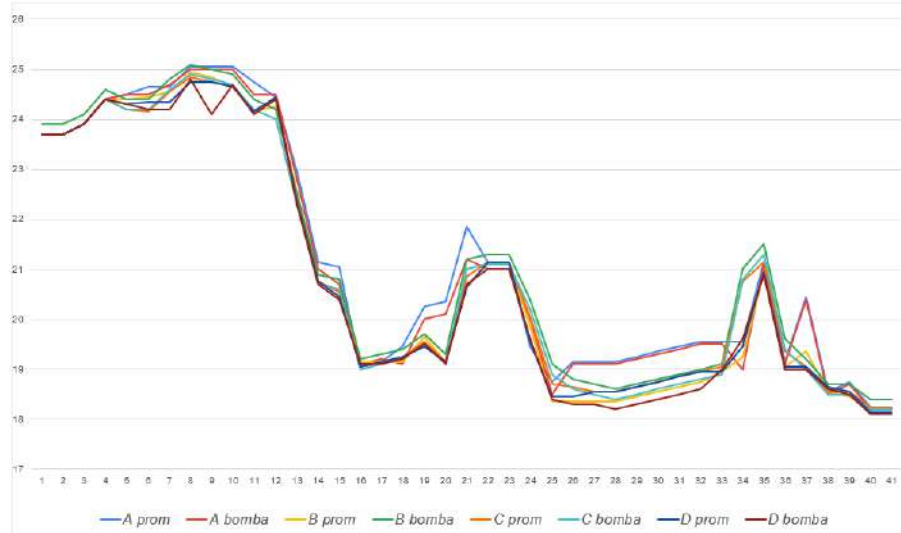


Fuente: Guzmán, 2023.

Se observó que el pH se mantuvo entre 7.0 y 8.0, tendiendo a aumentar hasta 8.5 al final del experimento. Según Arroyave (2004), el pH ideal para el crecimiento de *Lemna gibba* se encuentra entre 4.5 y 7.5. Sin embargo, este valor sigue siendo tolerable para la planta, ya que *Lemna gibba* demuestra una notable capacidad de adaptación a condiciones variables, lo que le permite prosperar incluso fuera de su rango óptimo.

En cuanto a la temperatura del agua, la figura 43 muestra los resultados del registro diario durante todo el periodo de experimentación.

**Figura 43.** Registro diario de temperatura en el agua para los tratamientos del modelo *beta*.



Fuente: Guzmán, 2023.

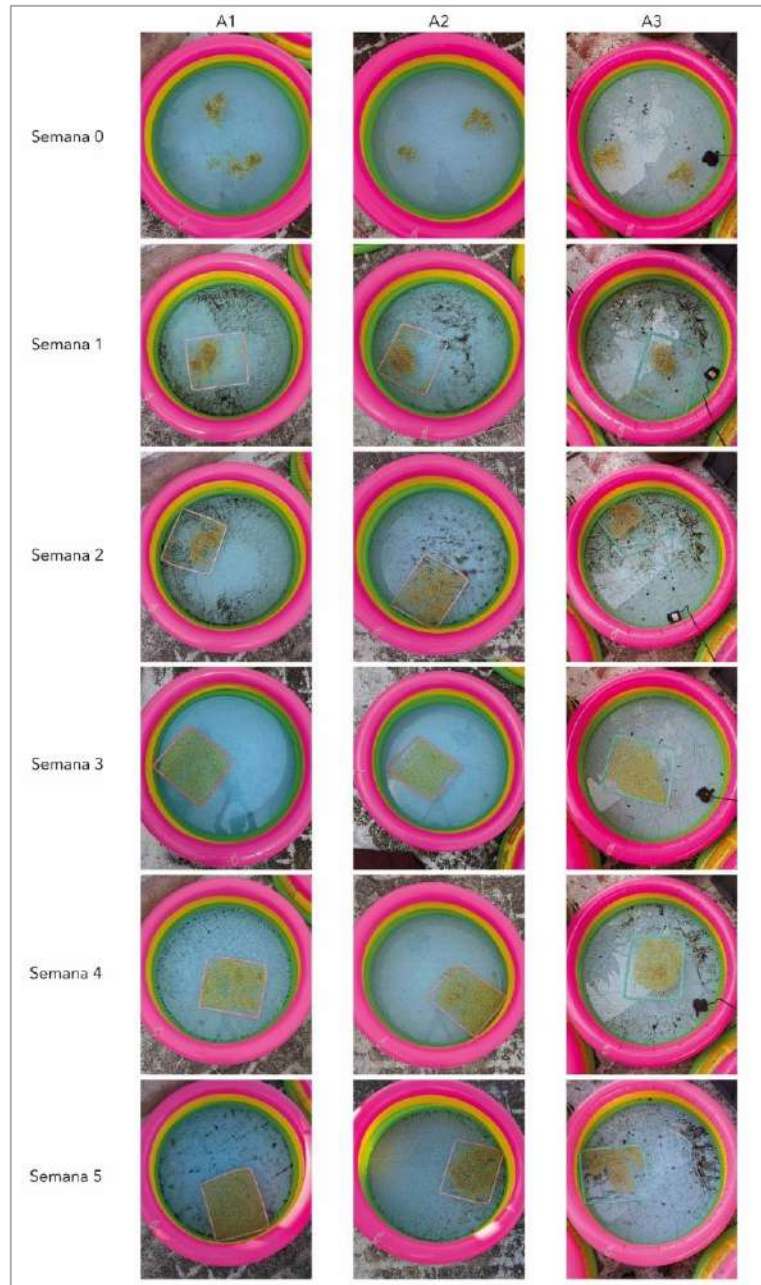
Se observó que la temperatura se mantuvo entre 18 y 25 °C, lo cual está dentro del rango de tolerancia de la especie, que varía entre 5 °C y 30 °C, según [Arroyave \(2004\)](#). Por otro lado, los resultados arrojados por la página de Meteored indicaron que la temperatura ambiental presentó una mínima de 8 °C y una máxima de 28 °C, lo que también se ajusta a los límites tolerados por la planta de acuerdo al autor mencionado.

### 6.3.8 Registro fotográfico del desarrollo del modelo *beta*.

A continuación, se muestra el monitoreo visual del crecimiento superficial de la biomasa durante las cinco semanas de experimentación (Figuras 44, 45, 46 y 47). Se utilizó un bastidor cuadrado, fabricado manualmente, cuya función inicial fue mantener agrupadas las unidades de *Lemna gibba*. Este enfoque se justifica por la teoría respecto a la fisiología vegetal que sugiere que la cercanía entre las unidades vegetales favorece la comunicación química, facilitada por la producción de hormonas vegetales como auxinas, giberelinas y citocininas. Las auxinas promueven la elongación celular, lo que favorece el desarrollo de la raíz y contribuye al crecimiento general de la planta en su entorno. Las giberelinas, a su vez, regulan la elongación

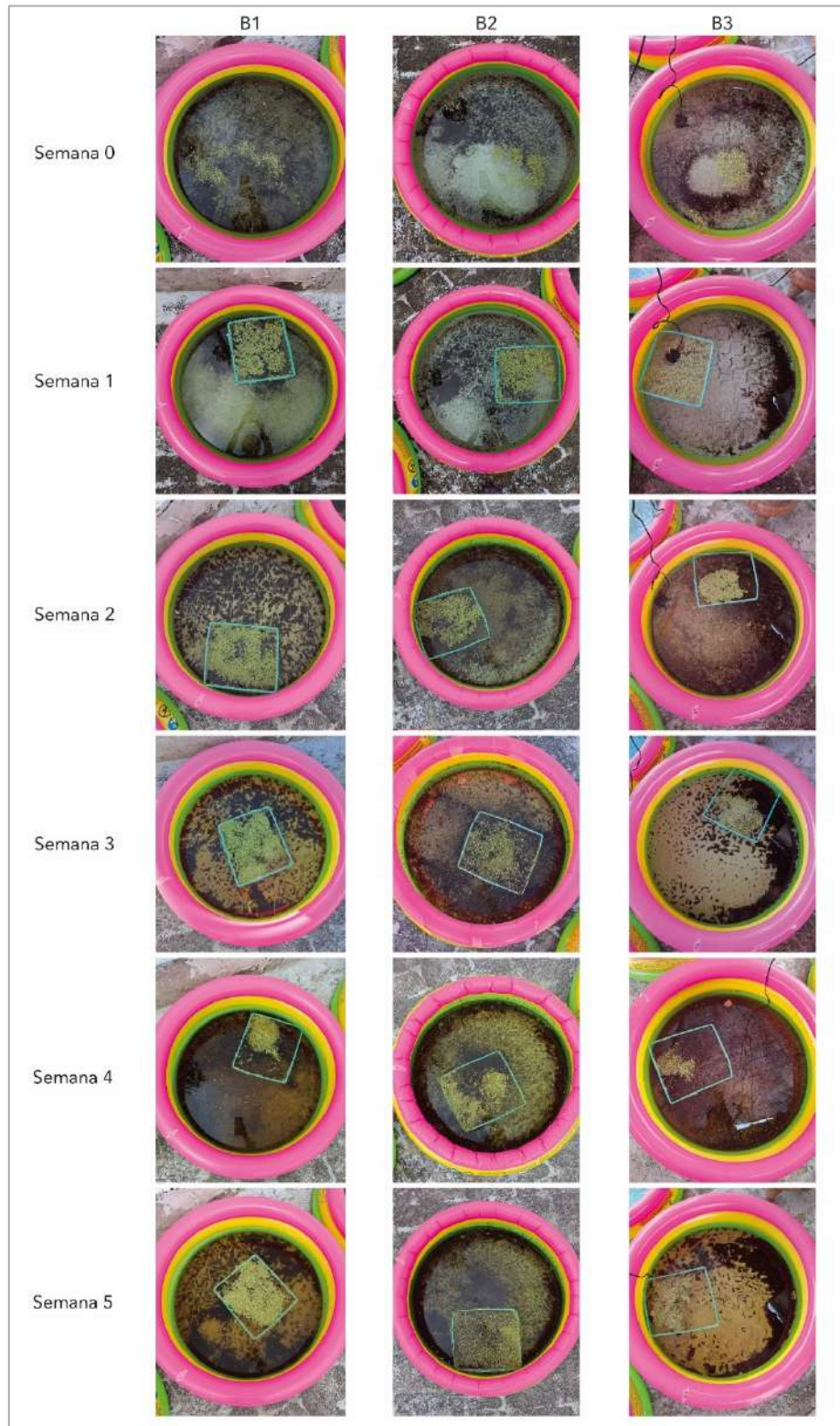
de la planta, estimulando la expansión de su cuerpo vegetativo y promoviendo un crecimiento más eficiente. Las citocininas, por otro lado, favorecen la división celular, lo que favorece la proliferación de unidades vegetativas y optimiza el crecimiento de la biomasa ([Jordán y Casaretto, 2006](#)). Una vez que el desarrollo ha iniciado en todas las unidades vegetales del sistema, se puede optar por retirar el bastidor.

**Figura 44.** Evolución de crecimiento de lenteja de agua en *tratamiento A*, modelo *beta*.



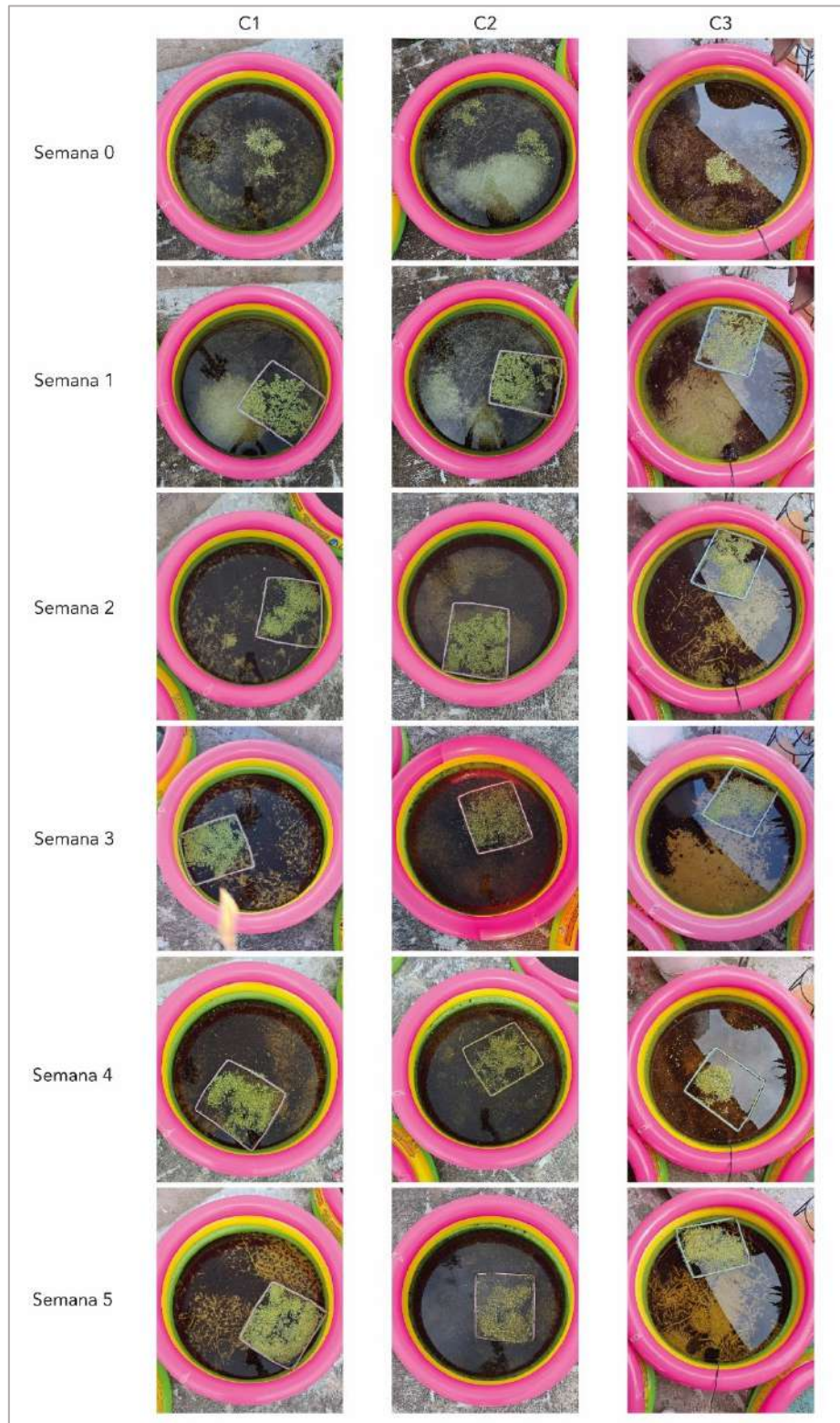
Fuente: Elaboración propia (Guzmán, 2024).

**Figura 45.** Evolución de crecimiento de lenteja de agua en *tratamiento B*, modelo *beta*.



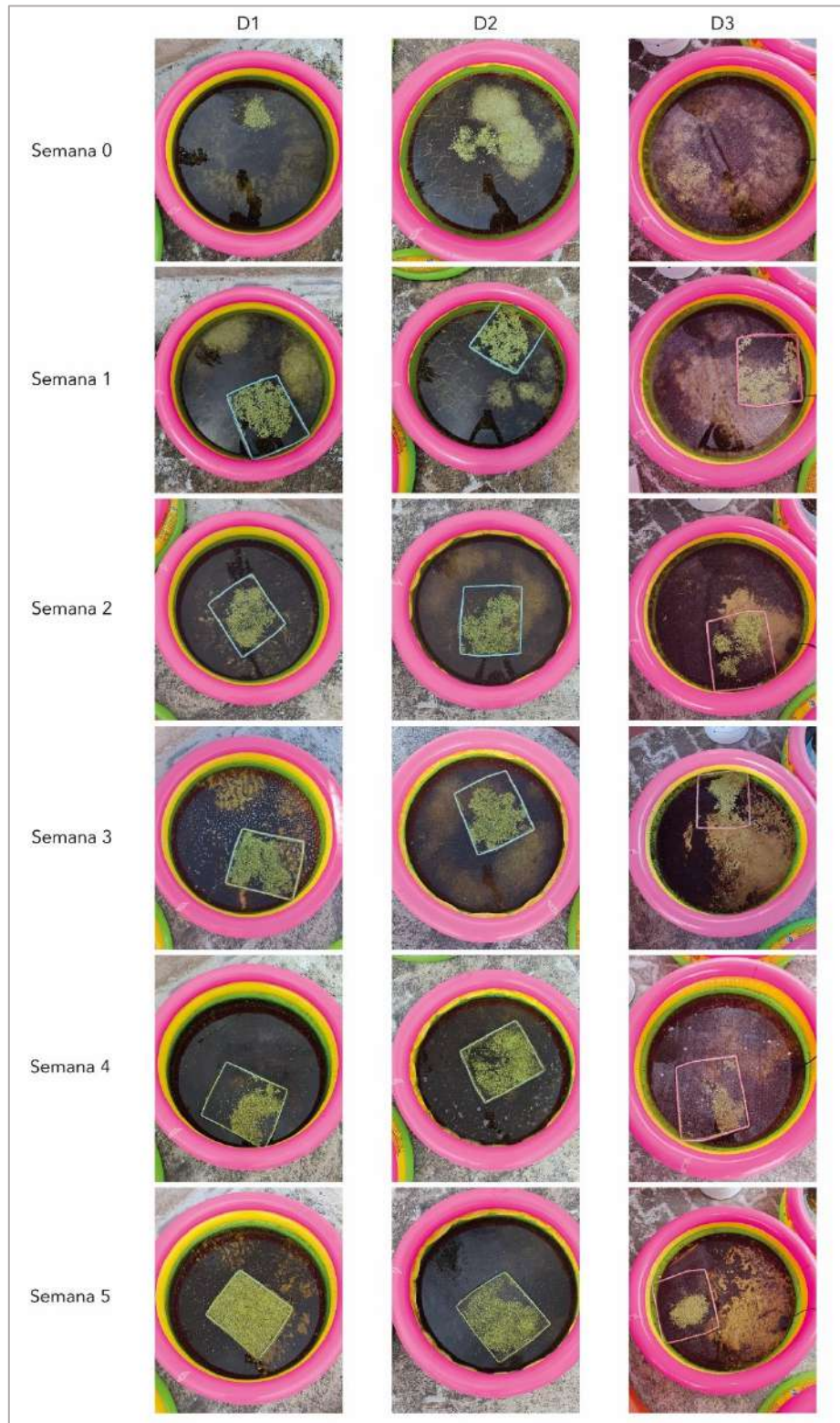
Fuente: Elaboración propia (Guzmán, 2024).

**Figura 46.** Evolución de crecimiento de lenteja de agua en *tratamiento C*, modelo *beta*.



Fuente: Elaboración propia (Guzmán, 2024).

**Figura 47.** Evolución de crecimiento de lenteja de agua en *tratamiento D*, modelo *beta*.



Fuente: Elaboración propia (Guzmán, 2024).

### 6.3.9 Análisis estadístico

Tras revisar las gráficas de peso semanal reportado en cada tratamiento, se tomó la decisión de excluir los datos correspondientes a los ensayos en donde se incluía el uso de la bomba sumergible del análisis final. Esto se hizo con el fin de eliminar posibles valores atípicos o interferencias que podrían distorsionar la interpretación de los efectos reales de cada condición experimental.

Con esta depuración de datos, se procedió a realizar el análisis estadístico ANOVA (Tabla 24) y la prueba de comparaciones múltiples de Tukey (Tabla 25 y 26), enfocándose en la variabilidad y las diferencias significativas (Figura 48) entre los tratamientos en la semana 5. A continuación, se presentan los resultados de este análisis, los cuales buscan esclarecer los efectos de cada concentración de estiércol en el crecimiento de la lenteja de agua de cada tratamiento experimental.

**Tabla 24.** Análisis de Varianza (ANOVA) “Semana 5”. Modelo *beta*.

Fuente	GL	SC Ajustada	Mc Ajustada	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	10672.4	3557.46	220.62	0.000
Error	4	64.5	16.13		
Total	7	10736.9			

*SC= Suma de cuadrados ajustada | MC = Media de cuadrados*  
Fuente: Elaboración propia (Guzmán, 2024) Datos arrojados por MINITAB 21

**Tabla 25.** Medias “Semana 5”. Modelo *beta*.

Tratamiento	N	Media	Desviación estándar	IC de 95%
A	2	103.00	1.41	(95.12, 110.88)
B	2	150.00	2.83	(142.12, 157.88)
C	2	165.50	2.12	(157.62, 173.38)
D	2	205.00	7.07	(197.12, 212.88)

*IC = Intervalo de confianza | Desviación estándar agrupada =4.01559*  
Fuente: Elaboración propia (Guzmán, 2024) Datos arrojados por MINITAB 21

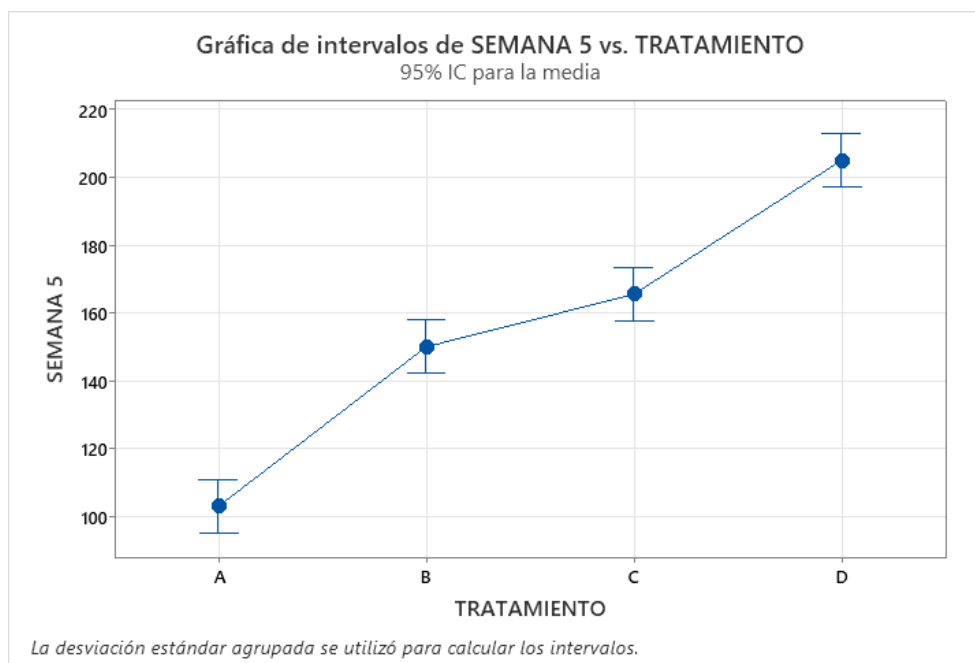


**Tabla 26.** Comparaciones en parejas de Tukey. "Semana 5". Modelo *beta*.

Tratamiento	N	Media	Agrupación
A	2	103.00	A
B	2	150.00	B
C	2	165.50	B
D	2	205.00	C

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes*  
 Fuente: Elaboración propia (Guzmán, 2024) Datos arrojados por MINITAB 21

**Figura 48.** Diferencia de las medias para "Semana 5". Modelo *beta*.



Fuente: Elaboración propia (Guzmán, 2024) Datos arrojados por MINITAB 21

El análisis de varianza (ANOVA) realizado, tras la exclusión del tratamiento con bombas debido a los resultados atípicos que presentó, revela diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos restantes, con un valor p menor a 0.000. Este resultado permite rechazar la hipótesis nula de que todas las medias son iguales, indicando que al menos uno de los tratamientos difiere significativamente de los demás.

Las comparaciones de Tukey revelan que el tratamiento *D* presentó un peso fresco promedio significativamente mayor que los demás tratamientos, y se encuentra en una categoría estadística separada. Por otro lado, los tratamientos *B* y *C* no mostraron diferencias significativas entre sí, pero ambos se agruparon en una categoría intermedia, superior al tratamiento *A*, que presentó el peso fresco promedio más bajo.

Estos resultados sugieren que las concentraciones de estiércol en los tratamientos *B* y *C* generan efectos similares sobre el crecimiento de la lenteja de agua, mientras que el tratamiento *D*, que empleó una mayor concentración de estiércol, promovió un mayor crecimiento en comparación con los demás tratamientos. La eliminación del tratamiento con bombas proporciona mayor claridad al confirmar que los efectos observados en los tratamientos restantes se deben principalmente a las concentraciones de estiércol, sin la interferencia de factores externos como el sistema mecánico de bombas.

En conclusión, los resultados obtenidos respaldan la hipótesis de que las concentraciones más altas de estiércol tienen un impacto positivo en el crecimiento de la lenteja de agua, siendo el tratamiento *D*, el más efectivo en la semana 5.

#### **6.3.10 Resultados de valor nutricional, modelo beta**

Una vez concluido el periodo de experimentación del modelo *beta*, se procedió a realizar un análisis bromatológico de la composición nutricional de los cuatro tratamientos propuestos (*A*, *B*, *C* y *D*) con el objetivo de evaluar tanto el crecimiento de la *Lemna gibba* como su calidad nutricional en cada concentración aplicada. Este análisis también se llevó a cabo para determinar su potencial como suplemento alimenticio para bovinos. Para este fin, se recolectaron cuatro muestras por triplicado correspondientes, entregando 250 g de cada muestra en estado fresco. Las muestras fueron transportadas en bolsas de plástico herméticas para conservar sus propiedades y entregadas al Laboratorio de Bioingeniería de la Facultad de Ingeniería (20°42'15.1"N 100°15'34.4"W), Campus Amazcala, de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), donde se llevaron a cabo los análisis bromatológicos (ver Anexo 3). En la tabla 27 y 28, se presentan los resultados obtenidos.

**Tabla 27.** Análisis proximal de *Lemna gibba*. Resultados en materia seca (%). Modelo *beta*.

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
Materia seca	5.2864	4.4088	4.5741	4.7863
Humedad	94.7136	95.5912	95.4259	95.2137
Canizas	0.7333	0.9313	0.9883	0.9901
Proteína total	22.6332	15.8361	14.7496	20.4040
Azúcares totales	28.4366	22.0610	23.1142	8.5583
Grasas totales	2.8219	2.9796	2.6442	0.9048
Fibra total	45.3752	58.1930	58.5030	69.1431
<b>Total</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Elaboración propia (Guzmán, 2024).

**Tabla 28.** Análisis proximal de *Lemna gibba*. Resultados en materia húmeda (%). Modelo *beta*.

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
Materia seca	5.2864	4.4088	4.5741	4.7863
Humedad	94.7136	95.5912	95.4259	95.2137
Canizas	0.0388	0.0411	0.0452	0.0474
Proteína total	1.1965	0.6982	0.6747	0.9766
Azúcares totales	1.5033	0.9726	1.0573	0.4096
Grasas totales	0.1492	0.1314	0.1209	0.0433
Fibra total	2.3987	2.5656	2.6760	3.3094
<b>Total</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Elaboración propia (Guzmán, 2024).

Los resultados muestran cómo la composición de *Lemna gibba* cambia según las concentraciones de estiércol bovino. Aunque el tratamiento A presentó el mayor contenido de proteína en materia seca, el tratamiento D sobresalió al generar una biomasa con la mayor cantidad de fibra total y un contenido proteico superior al de los demás tratamientos fertilizados con estiércol de bovino, aunque disminuyó los azúcares totales y las grasas totales. En materia húmeda, debido al alto contenido de agua en todos los casos, los valores de proteína total fueron más bajos. Esto refleja que una mayor disponibilidad de nutrientes provenientes del estiércol dirige el metabolismo de la planta hacia la síntesis de proteínas y fibras, sacrificando otros componentes como los azúcares. En el contexto ganadero, estos resultados son relevantes porque el tratamiento D ofrece una biomasa rica en proteína, esencial para mejorar la dieta del ganado, además de fibra, que favorece la salud ruminal. No obstante, debe evaluarse la digestibilidad de esta fibra y el impacto del bajo contenido de azúcares para garantizar un rendimiento óptimo en la alimentación del ganado, lo que permitirá ampliar el perfil de su composición química y desarrollar esquemas adecuados de la inclusión de *Lemna gibba* en la dieta de bovinos.

Al comparar los resultados obtenidos en este estudio con los reportados por Zetina (2010), se observa que el contenido proteico se encuentra dentro del rango de 13.09% a 41.00% mencionado en la literatura. El contenido de cenizas obtenido en este estudio fue al reportado, lo que podría reflejar diferencias en la acumulación de minerales dependiendo de las condiciones de cultivo de *Lemna gibba*. Además, los resultados de fibra total superaron ampliamente el 11.1% documentado en la literatura, destacando nuevamente el tratamiento D como el más favorable. Estos resultados demuestran la capacidad de la planta para ajustar su composición química en respuesta a las condiciones de cultivo, lo que resalta su potencial para adaptarse y optimizarse como una opción viable en sistemas de producción ganadera.

#### **6.3.10 Comparación del contenido proteico de *Lemna gibba* con fuentes comunes en la alimentación de rumiantes**

La tabla 29 presenta una comparación entre el contenido proteico de *Lemna gibba* con varios alimentos comunes en la dieta de rumiantes, como avena, cebada, maíz,

sorgo, trigo, alfalfa, malta y soja, en distintas formas físicas y sus presentaciones dentro del mercado.

**Tabla 29.** Comparación del contenido proteico de *Lemna gibba* con fuentes comunes en la alimentación de rumiantes, en materia seca.

<b>Alimento</b>	<b>Forma física</b>	<b>Proteína (%)</b>
<i>Lemna gibba</i>	Natural	20.4
Avena	Natural	23.2
	Fardo	12.3
	Grano	11.5
	Silaje (picado grueso)	20.1
	Henolaje	13.9
Cebada	Grano	13.5
Centeno	Grano	13.8
Maíz	Grano	9.8
	Silaje (picado fino)	6.3
	Silaje (picado grueso)	7.8
	Silaje (espiga)	8.3
	Subproducto (harina)	7.8
	Henolaje	8.3
Sorgo	Grano	8.3
	Fardo	8.1
	Rollo	6.6
	Silaje (picado fino)	6.4
	Silaje (picado grueso)	9.1
	Henolaje	12.5
Trigo	Grano	15.2
	Subproducto (pellets)	17.6
Alfalfa	Fardo	21.5

	Rollo	22.7
	Silaje (picado)	20.4
	Henolaje	17.8
	Subproducto (silopaq)	23.0
Malta	Silaje (picado grueso)	30.6
Soja	Natural	17.3
	Fardo (rastrajo)	13.3
	Subproducto (expeller)	45.2
	Subproducto (pellets)	45.4
	Henolaje	18.8

Fuente: Elaboración propia basado en [Fernández, 2002.](#)

Se observa que *Lemna gibba* tiene un contenido proteico competitivo en comparación con otras fuentes vegetales como la avena y la alfalfa, aunque es inferior a los subproductos de soja. En contraste, el maíz y el sorgo presentan niveles de proteína más bajos que *Lemna gibba*. Estos hallazgos sugieren que *Lemna gibba* puede ser una opción viable para la alimentación de rumiantes, destacándose como una alternativa para complementar la dieta del ganado, especialmente en situaciones donde las fuentes tradicionales de proteína sean limitadas.

Sin embargo, para determinar y asegurar su viabilidad como fuente de alimento, es necesario complementar los resultados con estudios adicionales sobre digestibilidad *in vitro* de materia seca, extracto etéreo y extracto etéreo ácido, energía metabólica y porcentaje de proteína degradable en el rumen, lo que permitirá ampliar el perfil de su composición química y desarrollar un esquema adecuado de inclusión en la dieta de bovinos, optimizando su valor nutritivo y funcionalidad en sistemas de producción animal.

#### **6.4 Diseño de modelo productivo de lenteja de agua (*Lemna gibba*) enfocado en ganado bovino de engorda.**

##### **6.4.1 Focus group con ganaderos**

Se llevó a cabo un segundo acercamiento con los productores de ganado de la región, a través de la Asociación Ganadera Local de Amealco (AGLA). Durante el *Focus*

*group*, el 19 de octubre de 2024, en donde se presentó una introducción general sobre la lenteja de agua, destacando el valor nutricional y su potencial como suplemento no convencional en la alimentación del ganado reportado en la literatura (Figura 49).

Asimismo, se presentó un modelo 3D de un prototipo de sistema productivo de lenteja de agua diseñado, lo que permitió a los ganaderos visualizar el sistema en su propio contexto y comprender cómo se integraría en su entorno. En cuanto a los costos de construcción, se ofreció una estimación de los elementos estructurales que lo conforman, desglosados por metro cuadrado para cada uno. Se subrayó que, al tratarse de componentes modulares, estos pueden adaptarse y personalizarse de acuerdo con las necesidades específicas de cada finca o el espacio disponible, brindando flexibilidad para optimizar los recursos y asegurar la viabilidad económica de la implementación del sistema.

**Figura 49.** *Focus group* con ganaderos locales.



Fuente: Guzmán, 2023.

En el mismo encuentro, se distribuyeron encuestas (Anexo 2) compuestas por seis preguntas de opción múltiple. Estas encuestas tenían como objetivo obtener una evaluación cuantitativa de la percepción de los ganaderos respecto a la percepción del modelo 3D sistema de cultivo de lenteja de agua y los elementos que lo integran. En total, participaron 38 ganaderos de la AGLA de manera voluntaria.

A continuación, en la tabla 30, se muestra un resumen de los resultados obtenidos, en donde se presenta cada pregunta, las opciones de respuesta, y los resultados en número y porcentaje de ganaderos que eligieron cada opción.

**Tabla 30.** Resultados de las encuestas realizadas a ganaderos locales el municipio de Amealco de Bonfil sobre el prototipo del modelo de producción de lenteja de agua.

	<b>Pregunta</b>	<b>Opciones</b>	<b>Respuesta</b>	<b>Porcentaje</b>
1	¿Cree que el sistema de cultivo de lenteja de agua podría ser útil para la alimentación de su ganado?	a) Sí	30	79%
		b) No	5	13%
		c) No sé	3	8%
2	¿Cree que este sistema contribuirá a la productividad de su ganado?	a) Sí	26	68%
		b) No	8	21%
		c) No sé	4	11%
3	¿Qué tan fácil considera que será mantener el sistema de cultivo de lenteja de agua?	a) Muy fácil	16	42%
		b) Moderadamente fácil	17	45%
		c) Difícil	5	13%
4	¿Qué tan importante considera que es este tipo de innovación para la sostenibilidad de su unidad pecuaria?	a) Muy importante	28	74%
		b) Algo importante	8	21%
		c) Poco importante	2	5%
5	¿Qué tipo de capacitación le gustaría recibir sobre el uso del sistema propuesto?	a) Capacitación técnica (instalación y mantenimiento)	23	60%
		b) Capacitación sobre nutrición animal.	10	26%
		c) Capacitación sobre costos y rentabilidad.	5	13%

Fuente: Elaboración propia (Guzmán, 2024)

Los resultados obtenidos reflejan un genuino interés por parte de los ganaderos en el modelo propuesto, especialmente debido a su potencial para mejorar la alimentación



del ganado. Un aspecto clave que despertó particular atención fue el uso de la lenteja de agua como suplemento alimenticio no convencional, lo cual es innovador en la región, dado que este cultivo no es ampliamente conocido ni utilizado por los productores locales. Esta novedad generó curiosidad y disposición para explorar sus beneficios como una alternativa en la alimentación animal.

Sin embargo, a pesar del interés mostrado, surgieron preocupaciones relacionadas con la financiación de los costos iniciales de implementación del sistema, lo cual podría representar una barrera para la adopción exitosa del modelo. Es fundamental, por tanto, desarrollar estrategias de financiamiento o esquemas de apoyo que faciliten la transición hacia este sistema productivo, garantizando su viabilidad y fomentando una integración efectiva en las prácticas ganaderas locales.

#### **6.4.2 Modelo de producción de lenteja de agua: diseño, elementos, procesos y costos de inversión.**

Este diseño se fundamenta en prácticas comunes en la región, como el uso de ensilaje y henolaje, considerando que un bovino en producción consume entre 16 y 18 kg/día de ensilaje o entre 9 y 14 kg/día de henolaje ([Ríos, 2022](#)). A partir de estas cifras, se calculó un requerimiento de 36 kg diarios de *Lemna gibba* en peso fresco para satisfacer las necesidades de una unidad de producción de 15 cabezas de ganado, una cifra representativa de las explotaciones ganaderas del municipio de Amealco de Bonfil. Esta cantidad equivale a un 15 % de integración en la dieta basal del ganado, proporción que no genera efectos negativos en rumiantes, según lo observado en el estudio de Tanuwiria y Mushawwir ([2020](#)). En dicha investigación, se evaluó el efecto de la inclusión de lenteja de agua fresca o seca en dietas para vacas lecheras, complementadas con pastos y suplementos proteicos, alcanzando niveles de integración de entre 10 % y 15 %. Los resultados mostraron efectos positivos en parámetros hematológicos y antioxidantes, así como en el rendimiento productivo de las vacas. Aunque el estudio se centró en vacas lecheras, sus conclusiones pueden extrapolarse a vacas de engorda, dado que ambos comparten el sistema digestivo rumiante. A partir de estas necesidades y los resultados experimentales obtenidos, se describen a continuación las características y procesos necesarios para la operatividad del sistema productivo propuesto.

### 6.4.2.1 Infraestructuras

El diseño de la infraestructura para el cultivo de lenteja de agua contempla la construcción de dos estanques circulares con un diámetro de 12.65 m y una profundidad de 0.5 m. Para su elaboración, es necesario realizar perforaciones en la tierra, que posteriormente serán cubiertas con geomembrana de color azul cielo, asegurando la impermeabilidad y durabilidad de los estanques. Estos se llenarán con agua de grifo, la cual deberá reposar durante 24 horas antes de su uso para permitir la evaporación del cloro residual y la estabilización de las condiciones químicas del agua. Durante todo el proceso, será indispensable mantener una profundidad constante de 0.20 m en los estanques. Ambos estanques estarán ubicados dentro de un invernadero (Figura 50), estas estructuras, construidas con perfiles metálicos y cubiertas plásticas especializadas, ofrecen diversas ventajas.

**Figura 50.** Vista exterior del modelo de producción de lenteja de agua.



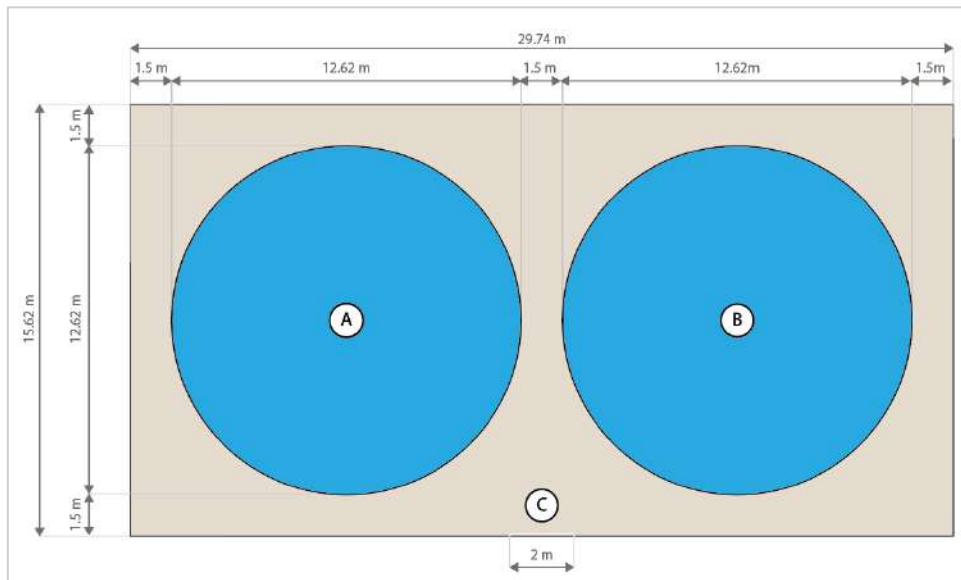
Fuente: Guzmán, 2024.

El invernadero no solo protege la *Lemna gibba* de fluctuaciones bruscas de temperatura y garantiza condiciones libres de plagas y estériles, sino que también incluye un componente intermedio que regula la intensidad de la luz solar, evitando la exposición directa. Durante la experimentación, se observó que la *Lemna gibba* crecía de manera óptima bajo estas condiciones controladas de exposición solar, lo que favorece un crecimiento estable y saludable de la biomasa.

Además, esta estructura facilitará un control más preciso de las condiciones internas, como la temperatura y la humedad. La distribución de los estanques dentro del invernadero debe ser tal que permita un acceso adecuado para la fertilización, el riego

y la cosecha, asegurando un manejo eficiente del espacio y de las actividades productivas (Figura 51).

**Figura 51.** Dimensiones y distribución de los estanques dentro del invernadero.



Fuente: Guzmán, 2024. A= Estanque 1, B= Estanque 2, C= Acceso.

#### **6.4.2.2 Condiciones ambientales requeridas**

Los resultados obtenidos indican que el cultivo de *Lemna gibba* requiere que la temperatura acuática se mantenga dentro del rango de 18 a 25 °C. En cuanto a la temperatura ambiental, se determinó que debe mantenerse entre un mínimo de 8 °C y un máximo de 28 °C para un desarrollo óptimo de la biomasa. Además, se observó que el pH del agua debe mantenerse entre 7 y 8 para asegurar el crecimiento adecuado de la planta.

#### **6.4.2.3 Fertilización y preparación de los estanques**

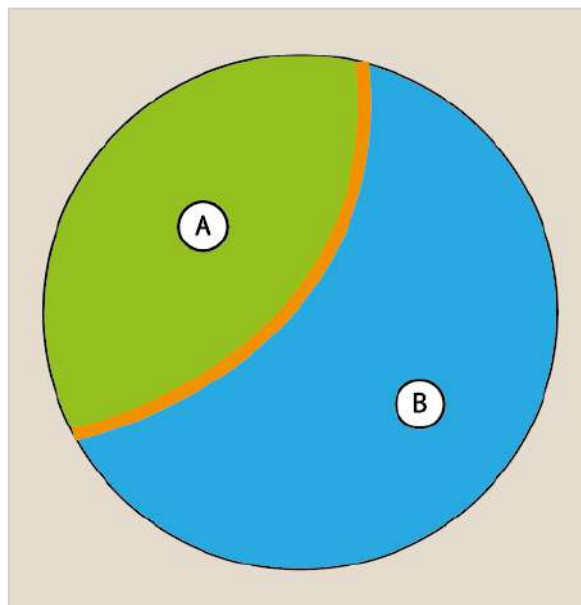
La fertilización inicial debe realizarse utilizando estiércol bovino seco, molido y cernido, de esta manera, se separan residuos grandes o basura, facilitando así su manejo y su incorporación homogénea al agua. El estiércol empleado debe tener una antigüedad mínima de seis meses para asegurar su madurez y eficacia como

fertilizante y debe ser agregado a los estanques en una concentración de 24 gramos por litro de agua. Cada uno de ellos tiene una capacidad aproximada de 24,620 L.

Una vez fertilizados, los estanques deberán permanecer en reposo durante cinco días, permitiendo la estabilización de los nutrientes en el agua. Al sexto día, se inocularán 40 kilogramos de lenteja de agua en cada estanque. A partir de esta inoculación, será necesario agregar una cuarta parte de la dosis inicial de estiércol cada diez días para garantizar un suministro continuo de nutrientes que favorezca el desarrollo y la reproducción de la biomasa. El período de producción inicial será de cinco semanas.

Por otra parte, durante el período de experimentación, se observó que la *Lemna gibba* presentaba una mayor generación de semillas cuando se mantenía agrupada y sostenida mediante elementos externos. Con base en este comportamiento, se propone la implementación de mangueras plásticas, en cada uno de los estanques (Figura 52), que pueden fijarse en puntos estratégicos en los extremos del estanque. Esta configuración permite la creación de una subdivisión que delimita el área de cultivo y la de fertilización, contribuyendo a una organización eficiente del sistema productivo.

**Figura 52.** Subdivisión dentro del estanque con mangueras plásticas.



Fuente: Guzmán, 2024. A= Área de cultivo, B= Área de fertilización.

La incorporación de este elemento no solo facilita la concentración de la biomasa dentro del estanque, favoreciendo su reproducción, sino que también optimiza las labores de cosecha al agrupar la lenteja de agua en áreas específicas. Este diseño asegura un crecimiento continuo y uniforme de la planta a lo largo del ciclo productivo.

Asimismo, al integrar estiércol seco como fertilizante, se observó que esta flota temporalmente en la superficie del agua antes de sumergirse, al igual que la lenteja. La subdivisión propuesta garantiza que el estiércol no entre en contacto directo con la *Lemna gibba*, reduciendo el riesgo de dispersión o estrés en la planta y promoviendo un entorno controlado que optimiza su desarrollo y productividad.

#### **6.4.2.4 Cosecha**

Al finalizar la quinta semana, desde la inoculación, se inicia la etapa de cosecha, que se realizará de manera diaria, alternando la recolección la biomasa en los dos estanques cada día para permitir una regeneración equilibrada del cultivo. En cada jornada de cosecha, el productor deberá retirar 34 kg. de biomasa fresca. Este proceso se llevará a cabo utilizando coladeras plásticas que permitan drenar el exceso de agua del estanque. Una vez recolectada, la biomasa deberá pesarse utilizando una báscula calibrada, registrando así la producción diaria para un mejor control del sistema.

La biomasa fresca extraída pasará por un proceso de desinfección para garantizar su inocuidad antes de ser integrada en la dieta del ganado. Este proceso se realizará colocando la lenteja de agua en un contenedor de acero inoxidable con agua tratada con desinfectantes comerciales seguros para alimentos, como ácido peracético. Después de esta etapa, la biomasa estará lista para su uso fresco como alimento

#### **6.4.2.5 Costos de inversión inicial**

Con base en estas dimensiones, se calculó la inversión inicial total necesaria (Tabla 31) para implementar el sistema de cultivo en el estanque. Los costos detallados en la tabla fueron cotizados a través de un proveedor externo especializado, *INVERNAGRO*, y negocios locales, con el objetivo de obtener una estimación, acorde a los materiales y equipos necesarios. Es importante señalar que los costos pueden

variar en función del proveedor seleccionado, así como de las condiciones del mercado, incluyendo disponibilidad y fluctuaciones de precios.

**Tabla 31.** Cotización del prototipo.

<b>Elemento de mercado</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Unidades</b>	<b>Costo total</b>
Invernadero hidropónico	\$800.00 MXN	465	\$372,000.00 MXN
	Costo por metro cuadrado		
Estanque de geomembrana	\$100.00 MXN	150	\$15,000.00 MXN
Báscula Electrónica Multifunciones 40 Kg	N/A	1	\$775.00 MXN
Botas de hule	NA	1	\$373.00 MXN
Tina ovalada de uso rudo	NA	1	\$1,149.00 MXN
<b>Inversión:</b>			<b>\$389,297.00 MXN</b>

Fuente: Elaboración propia (Guzmán, 2024)

Finalmente, este modelo productivo de lenteja de agua para pequeños ganaderos establece las condiciones mínimas necesarias para garantizar un abastecimiento adecuado y continuo de alimento para el ganado bovino. Con estos parámetros, se busca asegurar la viabilidad del modelo en condiciones reales de producción, permitiendo a los pequeños ganaderos contar con un sistema de alimentación sostenible y adaptado a las necesidades del ganado en la región.

## VII. CONCLUSIONES GENERALES

En la región de Amealco de Bonfil, Querétaro, la ganadería bovina es una actividad predominante entre los pequeños productores, quienes, en su mayoría, manejan hasta 15 cabezas de ganado. La alimentación de estos animales se basa principalmente en forrajes almacenados y suplementos comerciales, como concentrados y harinas ricas en proteínas. Sin embargo, algunos productores dependen exclusivamente del pastoreo en campo abierto. Esta situación genera una gran preocupación entre los ganaderos debido a la escasez de alimentos y al aumento constante en los costos de insumos.

En este contexto, el estiércol bovino se emplea con frecuencia como fertilizante durante la temporada de siembra, una práctica que no solo contribuye al ciclo agrícola, sino que también podría ofrecer una alternativa innovadora para mejorar la alimentación del ganado a través del cultivo de plantas acuáticas. Al mismo tiempo, las condiciones climáticas adversas han impactado significativamente la actividad ganadera en la región, lo que ha obligado a algunos productores a adoptar estrategias para garantizar una fuente de alimento estable y sostenible a largo plazo. Entre estas estrategias destacan el uso de maíz germinado y la producción de alimentos propios a partir de residuos agrícolas, siendo el ensilaje una práctica comúnmente adoptada.

El modelo experimental desarrollado en este estudio ha demostrado que el estiércol bovino es un sustrato efectivo para promover el crecimiento de *Lemna gibba*. Los mejores resultados en términos de peso fresco de la biomasa se obtuvieron con una concentración de 24 g/L de estiércol, reportando el mayor peso de 210 g en 5 semanas, bajo condiciones experimentales controladas. En cuanto a las características nutricionales, este tratamiento presentó un contenido proteico de 20.40%, un nivel de humedad de 95.21% y un contenido de cenizas de 0.99%. Se observa que *Lemna gibba* tiene un contenido proteico competitivo en comparación con otras fuentes vegetales como la avena y la alfalfa, lo que la posiciona como una alternativa viable para complementar la dieta de los rumiantes. Sin embargo, los estudios sobre el rendimiento de rumiantes de engorda con dietas suplementadas con lenteja de agua son escasos, lo que resalta la necesidad de ampliar esta línea de investigación para explorar su potencial en este tipo de sistemas de producción.

A pesar de los beneficios observados en el cultivo de lenteja de agua, la percepción de los ganaderos sobre este sistema ha sido positiva, aunque no exenta de preocupaciones. Los productores valoraron la posibilidad de contar con una alternativa sostenible para la alimentación de su ganado, pero expresaron inquietudes relacionadas con la viabilidad económica inicial del sistema y la necesidad de capacitación para un manejo adecuado del cultivo. Estos aspectos deben ser considerados para garantizar la adopción exitosa del modelo propuesto.

Para lograr una implementación efectiva, es fundamental diseñar estrategias de financiamiento que faciliten la inversión inicial, así como programas de capacitación técnica que aseguren que los ganaderos puedan gestionar el cultivo de manera eficiente. Además, un acompañamiento continuo durante las primeras etapas de implementación será clave para ajustar el modelo a las condiciones específicas de Amealco de Bonfil y asegurar su sostenibilidad a largo plazo.

Finalmente, es crucial realizar nuevas investigaciones que evalúen el desempeño de este sistema en condiciones de campo. Esto permitirá garantizar su viabilidad en el tiempo. Asimismo, es necesario desarrollar mecanismos de financiamiento y capacitación que respalden el mantenimiento y expansión del sistema productivo, facilitando así su consolidación en el sector ganadero de la región. Además, su aceptación como fuente de alimento necesita investigaciones orientadas al rendimiento a gran escala, disponibilidad de mercado económico y análisis de componentes antinutritivos que podrían afectar la digestibilidad y salud de los animales. También, será necesario explorar métodos de inhibición de estos compuestos tóxicos, lo cual permitirá optimizar el uso de *Lemna gibba* en la dieta ganadera.



## VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Arroyave, M. (2004) *La lenteja de agua (Lemna minor L.): Una planta acuática promisoría*. Revista EIA (1). 33-30. Recuperado de <https://repository.eia.edu.co/bitstream/handle/11190/523/REI00003.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- ASI ES GUATEMALA (2018). *Gallinas y pollos orgánicos*. "SIN GASTAR" [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=wRFkK20emfE&t=403s>
- Ajayi, D. E., Omotoso, S. O., Fagbenro, R. B., Oyogho, E. O., Oso, Y. A. A., Babayem, O. J. (2023). Duckweed as a non-conventional forage for ruminants in the tropics. *Slovak Journal of Animal Science*, 56(4), 42–51. Recuperado de: <https://office.sjas-journal.org/index.php/sjas/article/view/838/631>
- Barrera, J. (2017). Relación del número de parto y el nivel de producción con las excreciones de nitrógeno de ganado bovino productor de leche. (Tesis de maestría) Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México.
- Borja, M., Reyes, L., Espinosa, J. A., & Vélez, A. (2016). Estructura y funcionamiento de la cadena productiva de esquilmos agrícolas como forraje en la región de El Bajío, México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 20 (39), 451-464. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/141/14149188008.pdf>
- Carrera, B., Gómez, M., Schewentesius, R. (2014). *La Ganadería Bovina de Carne en México: Un Recuento Necesario Después de la Apertura Comercial*. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/280100179\\_La\\_Ganaderia\\_Bovina\\_de\\_Carne\\_en\\_Mexico\\_Un\\_Recuento\\_Necesario\\_Después\\_de\\_la\\_Apertura\\_Comercial](https://www.researchgate.net/publication/280100179_La_Ganaderia_Bovina_de_Carne_en_Mexico_Un_Recuento_Necesario_Después_de_la_Apertura_Comercial)
- Castillo, M., Padilla, A., Suniaga, J., Betancourt, A., & Marcano, E. (2005) Análisis de la Lemna sp. Del lago de Maracaibo para su eventual utilización en la

alimentación de rumiantes. Recuperado de <http://reencyt.ula.ve/storage/repo/ArchivoDocumento/agri/v10/art1.pdf>

Castro-Samano, M. A., García-Mata, R., Parra-Insunza, F., Portillo-Vázquez, M., Márquez-Sánchez, I., & García-Sánchez, R. C. (2019). El mercado de la carne de bovino en México, considerados los factores externos. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 16(1), 85-103. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-54722019000100085&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722019000100085&lng=es&tlng=es)

Chau L H 1998: Biodigester effluent versus manure, from pigs or cattle, as fertilizer for duckweed (*Lemna* spp.). *Livestock Research for Rural Development*. Volume 10, Article #27. <http://www.lrrd.org/lrrd10/3/chau2.htm>

Córdoba, P. Z., Mendiola, J. L. R., Cerrilla, M. E. O., Jiménez, E. O., Torres, M. T. S., Haro, J. G. H., & Herrera, M. B. (2010). Utilización de la lenteja agua (*Lemnaceae*) en la producción de Tilapia (*Oreochromis* spp.). *Archivos de zootecnia*, 59, 133-155. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7212381>

Estrada, M. M., Paff Sotelo Moreno, D., Maza Ortega, R. E., Cruz Torres, J. A. (2019). Uso de suplementos para bovinos productores de carne en pastoreo en el trópico de México. *Revista Latinoamericana de Educación y Estudios Interculturales*, 3(3). Recuperado de [https://www.researchgate.net/profile/Mauricio-Miguel/publication/341368843\\_Use\\_of\\_supplements\\_for\\_bovine\\_producers\\_of\\_grazing\\_meat\\_in\\_the\\_tropics\\_of\\_Mexico/links/5ebcae4092851c11a8677f06/Use-of-supplements-for-bovine-producers-of-grazing-meat-in-the-tropics-of-Mexico.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Mauricio-Miguel/publication/341368843_Use_of_supplements_for_bovine_producers_of_grazing_meat_in_the_tropics_of_Mexico/links/5ebcae4092851c11a8677f06/Use-of-supplements-for-bovine-producers-of-grazing-meat-in-the-tropics-of-Mexico.pdf)

Fernández, H. H. (2002). *Composición de alimentos para rumiantes* (p. 1). EEA INTA Balcarce. Sitio Argentino de Producción Animal. Consultas a: Ing. Agr. Héctor

H. Fernández, Nutrición Animal. Recuperado de [https://www.produccion-animal.com.ar/tablas\\_composicion\\_alimentos/01-alimentos\\_rumiantes.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/tablas_composicion_alimentos/01-alimentos_rumiantes.pdf)

FIRCO-SAGARPA (2011). Diagnóstico General de la Situación Actual de los Sistemas de Biodigestión en México. Recuperado de [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/SAGARPA-FIRCO%202009.%20Diagn%C3%B3stico%20General%20de%20la%20Situaci%C3%B3n%20de%20Biodigesti%C3%B3n%20en%20M%C3%A9xico.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/SAGARPA-FIRCO%202009.%20Diagn%C3%B3stico%20General%20de%20la%20Situaci%C3%B3n%20de%20Biodigesti%C3%B3n%20en%20M%C3%A9xico.pdf)

Fundación Madre Tierra. (2019). *Producción de lemna* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=CQuqcm3f-rA>

Gena, F., Karno, D., & Sumarsono. (2013). GROWTH AND PRODUCTION OF LESSER DUCKWEED (*Lemna minor*) IN DIFFERENT MANURE SOLUTIONS AND CONCENTRATIONS. ResearchGate; unknown. [https://www.researchgate.net/publication/370658513\\_GROWTH\\_AND\\_PRODUCTION\\_OF\\_LESSER\\_DUCKWEED\\_Lemna\\_minor\\_IN\\_DIFFERENT\\_MANURE\\_SOLUTIONS\\_AND\\_CONCENTRATIONS](https://www.researchgate.net/publication/370658513_GROWTH_AND_PRODUCTION_OF_LESSER_DUCKWEED_Lemna_minor_IN_DIFFERENT_MANURE_SOLUTIONS_AND_CONCENTRATIONS)

Hasan, M., Chakrabarti, R. (2009) *Use of algae and aquatic macrophytes as feed in small-scale aquaculture*. Aquaculture Management and Conservation Service Fisheries and Aquaculture Management Division FAO Fisheries and Aquaculture Department. (1), 29-43. Recuperado de <file:///C:/Users/HP/Downloads/FATP531.pdf>

Hernández, D. (2015). "Producción de biomasa de lemnáceas en estanques de acuicultura" Trabajo presentado en Bioeconomía Argentina, el potencial de las regiones. Corrientes, Argentina.

Hernández Martínez, J., Rebollar Rebollar, A., Mondragón Ancelmo, J., Guzmán Soria, E., & Rebollar Rebollar, S. (2016). Costos y competitividad en la producción de bovinos carne en corral en el sur del Estado de México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, (69),

13-20. Recuperado de:  
<https://revistas.uaa.mx/index.php/investycien/article/view/1860/1736>

Herrera, Pedro M. (ed.) (2020) Ganadería y cambio climático: un acercamiento en profundidad. Fundación Entretantos y Plataforma por la Ganadería Extensiva y el Pastoralismo. ISBN 978-84-09-19757-6. Recuperado de:  
[http://www.ganaderiaextensiva.org/wp-content/uploads/2020/03/CuadernoEntretantos6\\_GanaderiaCC.pdf](http://www.ganaderiaextensiva.org/wp-content/uploads/2020/03/CuadernoEntretantos6_GanaderiaCC.pdf)

Herrero, M., Gil, S. (2008). Consideraciones ambientales de la intensificación en producción animal. *Ecología austral*, 18(3), 273-289. Recuperado de  
[http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1667-782X2008000300003&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1667-782X2008000300003&lng=es&tlng=es)

INEGI (2019) Encuesta Nacional Agropecuaria. Recuperado de  
<https://www.inegi.org.mx/programas/ena/2019/>

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (2020) Hacia una ganadería sustentable y de bajas emisiones. Recuperado de  
<https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/14347/BVE21030049e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Izazola. P. (2021) Flora del bajío y regiones adyacentes. *Familia Lemnaceae*. Instituto de Ecología, A.C. (1) Recuperado de  
<http://inecolbajio.inecol.mx/floradelbajio/documentos/fasciculos/ordinarios/Lemnaceae%20222.pdf>

Jaimes Prada, O.; Lora Díaz, O.; Tache Rocha, K. (2024). Lenteja de agua (Lemna minor): Potencial alimentario y ambiental. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 15(2), 404-424. Recuperado de:  
[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2007-11242024000200404&lng=es&nrm=iso](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-11242024000200404&lng=es&nrm=iso)

Jones, G., Scullion, J., Dalesman, S., Robson, H., & Gwynn-Jones, D. (2023). Acidification increases efficiency of Lemna minor N and P recovery from diluted

cattle slurry. *Cleaner Waste Systems*, 6, 100122–100122.  
<https://doi.org/10.1016/j.clwas.2023.100122>

Jordán, M., Casaretto, J. (2006). Hormonas y reguladores del crecimiento: Auxinas, giberelinas y citocininas. En F. A. Squeo & L. Cardemil (Eds.), *Fisiología Vegetal* (Vol. 15, Cap. XV). Ediciones Universidad de La Serena. Recuperado de  
<https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Auxinasgiberelinasycitocininas.pdf>

Lampheuy Kaensombath, Thy San and Preston T R 2004: Manure or biodigester effluent as fertilizer for duckweed. *Livestock Research for Rural Development*, Vol. 16, Art. #17. <http://www.lrrd.org/lrrd16/3/lam16017.htm>

Leng R., Stambolie J., Bell. R. (1995) Duckweed - a potential high-protein feed resource for domestic animals and fish. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 7, Article #5. Recuperado de  
<http://www.lrrd.org/lrrd7/1/3.htm>

Martínez-González, J. M., Rodríguez, M. A., y Ramírez, C. A. (2017). Sistemas de producción con rumiantes en México. *Ciencia Agropecuaria*, 26, 132-152. Recuperado de  
<http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/78/61>

Nazariyah Yahaya, Nabila Huda Hamdan, Atiqah Ruqayyah Zabidi, Ammar Mirza Mohamad, Luqman, M., Muhammad, Hanis Nadia Yahya, & Yahya, H. (2022). Duckweed as a future food: Evidence from metabolite profile, nutritional and microbial analyses. *Future Foods*, 5, 100128–100128.  
<https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100128>

Parra-Cortés, R. I., Magaña-Magaña, M. A., & Piñeiro-Vázquez, A. T. (2019) Intensificación sostenible de la ganadería bovina tropical basada en recursos locales: Alternativa de mitigación ambiental para América Latina. *ITEA-*

*Información Técnica Económica Agraria*, xx, 1-18.  
<https://doi.org/10.12706/itea.2019.003>

Pérez, R. (2008). El lado oscuro de la ganadería. *Problemas Del Desarrollo*, 39(154), 217–227. Recuperado de [https://scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0301-70362008000300011](https://scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-70362008000300011)

Pérez Gutiérrez, E. (2017). *Manual de manejo: sistemas intensivos sostenibles de ganadería de engorde*. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. Recuperado de [https://www.platicar.go.cr/images/buscador/documents/pdf/04/Manual\\_de\\_manejo\\_sistemas\\_intensivos\\_sostenibles\\_de\\_ganaderia\\_de\\_engorde-min.pdf](https://www.platicar.go.cr/images/buscador/documents/pdf/04/Manual_de_manejo_sistemas_intensivos_sostenibles_de_ganaderia_de_engorde-min.pdf)

Pinos, J., García, J., Peña, L., Rendón, J., González, C., Tristán, F. (2012). Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. *Agrociencia*, 46(4), 359-370. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-31952012000400004&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952012000400004&lng=es&tlng=es).

Reindert Devlamynck, Fernandes, M., Leenknecht, J., Liesbeth Jacxsens, Eeckhout, M., & Meers, E. (2021). Lemna minor Cultivation for Treating Swine Manure and Providing Micronutrients for Animal Feed. *Plants*, 10(6), 1124–1124. <https://doi.org/10.3390/plants10061124>

Riojas, I., Badii, M., Guillen, A., García, M., & Abreu, J. (2018). La ganadería y el desarrollo sustentable (Animal husbandary and sustainable development). *Daena: International Journal of Good Conscience*, 13(2), 77–102. Recuperado de: [http://www.spentamexico.org/v13-n2/A5.13\(2\)77-102.pdf](http://www.spentamexico.org/v13-n2/A5.13(2)77-102.pdf)

Ríos Cando, L. R. (2022). El ensilaje y henolaje como estrategia de conservación de forraje para la alimentación bovina en época de sequía o presencia de ceniza volcánica (Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias Pecuarias). Riobamba, Ecuador. Recuperado de: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/16281/1/17T01696.pdf>

- Rodríguez Mejía, Sergio, Flores Sánchez, Diego, León Merino, Aurelio, Pérez Hernández, Luz María, & Aguilar Ávila, Jorge. (2018). *Diagnóstico de sistemas de producción de bovinos para carne en Tejupilco, Estado de México*. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 9(2), 465-471. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i2.1086>
- Roman, B., & Brennan, R. A. (2019). A beneficial by-product of ecological wastewater treatment: An evaluation of wastewater-grown duckweed as a protein supplement for sustainable agriculture. *Ecological Engineering*, 142, 100004–100004. <https://doi.org/10.1016/j.ecoena.2019.100004>
- Salcedo-Meza, J. R., Hidalgo-Moreno, J. A., González-Sauceda, J. L., & Burciaga-Guajardo, D. (2018). Retos de la alimentación del ganado bovino en engorda intensiva. En *Avances de la Investigación sobre Producción Animal y Seguridad Alimentaria en México* (pp. 219-234). Recuperado de [https://www.researchgate.net/profile/Fernando-Casanova-Lugo/publication/325807244\\_Avances\\_de\\_la\\_investigacion\\_sobre\\_produccion\\_animal\\_y\\_seguridad\\_alimentaria\\_en\\_Mexico/links/5b578a9e0f7e9bc79a609bc8/Avances-de-la-investigacion-sobre-produccion-animal-y-seguridad-alimentaria-en-Mexico.pdf#page=227](https://www.researchgate.net/profile/Fernando-Casanova-Lugo/publication/325807244_Avances_de_la_investigacion_sobre_produccion_animal_y_seguridad_alimentaria_en_Mexico/links/5b578a9e0f7e9bc79a609bc8/Avances-de-la-investigacion-sobre-produccion-animal-y-seguridad-alimentaria-en-Mexico.pdf#page=227)
- Sánchez Toledano, B. I.; Borja Bravo, M.; Vélez Izquierdo, A. (2022). DESARROLLO DE CAPACIDADES EN PRODUCTORES DE GANADO BOVINO EN TEMAS BÁSICOS SOBRE MANEJO EFICIENTE DE RECURSOS FORRAJEROS : Desarrollo de capacidades en productores. *Agro-Divulgación*, 2(1). Recuperado a partir de <https://agrodivulgacion-colpos.org/index.php/1agrodivulgacion1/article/view/39>
- Stadlander, T., Bandy, J., Rosskothén, D., Pietsch, C., Tschudi, F., Sigrist, M., Seitz, A., & Leiber, F. (2022). Dilution rates of cattle slurry affect ammonia uptake and protein production of duckweed grown in recirculating systems. *Journal of Cleaner Production*, 357, 131916–131916. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131916>

- Tache, K. (2020). *Lenteja de agua (Lemna minor); una promisorio planta con potencial en el cuidado ambiental y alimento alimentario para seres humanos y animales*. Recuperado de: <http://repositorio.unisinucartagena.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/241/LENTEJA%20DE%20AGUA%20%28Lemna%20minor%29%3b%20UNA%20PROMISORIA%20PLANTA%20CON%20POTENCIAL%20EN%20EL%20CUIDADO%20AMBIENTAL%20Y%20ALIMENTARIO%20PARA%20SERES%20HUMANOS%20Y%20ANIMALES.pdf?sequence=1>
- Tanuwiria, U. H., & Mushawwir, A. (2020). Hematological and antioxidants responses of dairy cow fed with a combination of feed and duckweed (*Lemna minor*) as a mixture for improving milk biosynthesis. *Revista BIODIVERSITAS*, 21(10), 4741-4746. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d21103> Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/346895373\\_Hematological\\_and\\_antioxidants\\_responses\\_of\\_dairy\\_cow\\_fed\\_with\\_a\\_combination\\_of\\_feed\\_and\\_duckweed\\_Lemna\\_minor\\_as\\_a\\_mixture\\_for\\_improving\\_milk\\_biosynthesis\\_The\\_effects\\_of\\_feed\\_duckweed](https://www.researchgate.net/publication/346895373_Hematological_and_antioxidants_responses_of_dairy_cow_fed_with_a_combination_of_feed_and_duckweed_Lemna_minor_as_a_mixture_for_improving_milk_biosynthesis_The_effects_of_feed_duckweed)
- Teixeira, C., Ludes, T. Sarmiento, N., Proenca, V., Domingos, T., (2018) *Producción de pastos para ganado Ganadería Ficha Técnica de Biodiversidad*. Recuperado de <https://fundacionglobalnature.org/wp-content/uploads/2020/01/ganaderia.pdf>
- Tirado-Estrada, G., Ramos-Mijangos, L. M., Miranda-Romero, L. A., Tirado-González, D. N., Salem, A. Z. M., Mlambo, V., Medina-Cuéllar, S. E., González-Reyes, M., & Barbabosa Pliego, A. (2018). Potential impacts of dietary Lemna gibba supplements in a simulated ruminal fermentation system and environmental biogas production. *Journal of Cleaner Production*, 181, 555–561. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.120> Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652618301392>
- Uyen, T.; Semba, S.; Nakajima, J.; Soda, S. (2022). Image Analysis for Estimation of Biomass and Nutrient Removal of Duckweed Lemna aoukikusa, Spirodela. Recuperado de






<https://www.researchgate.net/publication/359367382> Image Analysis for Estimation of Biomass and Nutrient Removal of Duckweed *Lemna oukikusa*, *Spirodela polyrhiza* and *Wolffia globosa* in LabScale Cultivation  
rabosuke rudepeiyangshitaoukikusaLemna oukikusa

- Van der Spiegel, M., Noordam, M. Y., & van der Fels-Klerx, H. 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. Recuperado de: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33412718/>
- Verma, R., & Suthar, S. (2014). Synchronized urban wastewater treatment and biomass production using duckweed *Lemna gibba* L. *Ecological Engineering*, 64, 337–343. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.12.055>
- Yahaya, I. S., Fagbenro, R. B., y Babayemi, O. J. (2022). Awareness and nutrient composition of duckweed (*Lemna* spp) as a potential feed for ruminants *Nigerian Journal of Animal Production*, 1530–1534. Retrieved from <https://njap.org.ng/index.php/njap/article/view/5810>
- Zetina, P., Reta, J., Ortega, M., Ortega, E., Sánchez, M., Herrera, J., Becerril, M. (2010) *Utilización de la lenteja (Lemnaceae) en la producción de tilapia (Oreochromis SPP.)* Archivos de zootecnia. 59 (R), 133-155. Recuperado de <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Dialnet-UtilizacionDeLaLentejaAguaLemnaceaeEnLaProduccionD-7212381.pdf>
- Zhao, X. (2014) Optimization of the production of bioethanol from duckweed (*Lemna minor*). (Tesis de Doctorado, University of East Anglia Institute of Food Research) Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/41989953.pdf>

## VIII. ANEXOS

### ANEXO 1

 UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO	 FACULTAD DE INGENIERÍA	 DIPFI POSGRADO INGENIERÍA
--	--	--

**ENCUESTA PARA PRODUCTORES DE GANADO BOVINO  
EN EL MUNICIPIO DE AMEALCO DE BONFIL, QRO.**

Sus respuestas nos ayudarán a comprender mejor las necesidades y desafíos de los ganaderos en el municipio de Amealco, lo que nos permitirá proponer soluciones y mejoras en el sector ganadero.

1. ¿Cuántas cabezas de ganado tiene actualmente en su unidad de producción?

\_\_\_\_\_

2. Comunidad o Delegación en la que se encuentra actualmente ubicada su unidad de producción ganadera:

\_\_\_\_\_

3. ¿Qué razas de ganado posee? (Seleccione todas las opciones que correspondan a su respuesta).

<input type="checkbox"/> Angus	<input type="checkbox"/> Brahman
<input type="checkbox"/> Hereford	<input type="checkbox"/> Holstein
<input type="checkbox"/> Charolais	<input type="checkbox"/> Otro(s): _____
<input type="checkbox"/> Brangus	

4. ¿Qué tipo de alimentación proporciona a su ganado actualmente? (Seleccione todas las opciones que correspondan a su respuesta).

Pastoreo en campos abiertos.  
 Forraje almacenado (heno, silo, etc.).  
 Alimentos concentrados (granos, suplementos, etc.).  
 Otro: \_\_\_\_\_

**A CONTINUACIÓN SELECCIONE UNA OPCIÓN PARA RESPONDER LAS PREGUNTAS 5, 6, 7, 8 y 9**

5. ¿Cuál es el método principal que utiliza para manejar el estiércol en su unidad ganadera?

a) Almacenamiento en pilas.  
b) Compostaje.  
c) Utilización directa como fertilizante.  
d) Venta de estiércol.  
e) Otro: \_\_\_\_\_

6. ¿Con qué frecuencia realiza la limpieza y recolección del estiércol en sus instalaciones?

a) Diariamente.  
b) Semanalmente.  
c) Mensualmente.  
d) Otro: \_\_\_\_\_

7. ¿Cuáles han sido las principales dificultades que ha enfrentado en relación al manejo de estiércol?

a) Problemas de almacenamiento adecuado.  
b) Falta de recursos o tecnologías para su tratamiento.  
c) Gestión de olores.  
d) Falta de capacitación para el manejo y tratamiento adecuado del estiércol.  
e) Otro: \_\_\_\_\_

8. ¿Utiliza alguna estrategia de alimentación especializada para mejorar el rendimiento de su ganado?

a) Suplementación nutricional.  
b) Rotación de pastoreo.  
c) Utilización de alimentos balanceados.  
d) No utilizo estrategias especiales.

9. ¿Cuáles han sido las principales dificultades en cuanto a la alimentación de su ganado en el último año?

a) Escasez en la disponibilidad de alimentos.  
b) Incremento en los precios de los alimentos.  
c) Cambios en la calidad o valor nutricional de los alimentos.  
d) Otro: \_\_\_\_\_

**¡Gracias por su valiosa participación!**

## ANEXO 2



UNIVERSIDAD  
AUTÓNOMA  
DE QUERÉTARO



FACULTAD  
DE INGENIERÍA



DIPFI  
POSGRADO  
INGENIERÍA

### ENCUESTA PARA PRODUCTORES DE GANADO BOVINO EN EL MUNICIPIO DE AMEALCO DE BONFIL, QRO. FOCUS GROUP: ANÁLISIS DEL PROTOTIPO DE PRODUCCIÓN DE LENTEJA DE AGUA PARA GANADEROS

De acuerdo con lo que se observó y escuchó sobre la lenteja de agua y el prototipo del modelo de producción, responda las siguientes preguntas.

1. ¿Cree que el sistema de cultivo de lenteja de agua podría ser útil para la alimentación de su ganado?
  - a) Sí
  - b) No
  - c) No sé
2. ¿Cree que este sistema contribuirá a la salud y productividad de su ganado?
  - a) Sí
  - b) No
  - c) No sé
3. ¿Qué tan fácil considera que será mantener el sistema de cultivo de lenteja de agua?
  - a) Muy fácil
  - b) Moderadamente fácil
  - c) Difícil
4. ¿Qué tan importante considera que es este tipo de innovación para la sostenibilidad de su unidad pecuaria?
  - a) Muy importante
  - b) Algo importante
  - c) Poco importante
5. ¿Qué tipo de capacitación le gustaría recibir sobre el uso del sistema propuesto?
  - a) Capacitación técnica (instalación y mantenimiento)
  - b) Capacitación sobre nutrición animal.
  - c) Capacitación sobre costos y rentabilidad.

**¡Gracias por su valiosa participación!**

**ANEXO 3**



**LABORATORIO DE BIOINGENIERÍA  
 REPORTE DE RESULTADOS**



ANÁLISIS SOLICITADA (Cot-146) Descripción de la orden		
<b>Fecha de recepción</b> 23/10/2024	<b>Fecha de elaboración</b> 23/10/24 – 13/11/2024	<b>Fecha de reporte</b> 19/11/2024
<b>Muestras recibidas</b> 4	<b>Muestras analizadas</b> 4	<b>Tipo de muestra</b> Vegetal
<b>Manejo de residuos</b>	Se desecharon previa aceptación del responsable de las muestras	
<b>Capturista</b>	Dra. María Isabel Nieto Ramírez	
<b>Analista</b>	Dra. María Isabel Nieto Ramírez	
<i>Los resultados fueron enviados al correo</i>		

**RESULTADOS**

	Resultados en materia seca (%)				Resultados en materia húmeda (%)			
	A	B	C	D	A	B	C	D
<b>Materia seca</b>	5.2864	4.4088	4.5741	4.7863	5.2864	4.4088	4.5741	4.7863
<b>Humedad</b>	94.7136	95.5912	95.4259	95.2137	94.7136	95.5912	95.4259	95.2137
<b>Cenizas</b>	0.7333	0.9313	0.9883	0.9901	0.0388	0.0411	0.0452	0.0474
<b>Proteína total</b>	22.6332	15.8361	14.7496	20.4040	1.1965	0.6982	0.6747	0.9766
<b>Azúcares totales</b>	28.4366	22.0610	23.1142	8.5583	1.5033	0.9726	1.0573	0.4096
<b>Grasas totales</b>	2.8219	2.9796	2.6442	0.9048	0.1492	0.1314	0.1209	0.0433
<b>Fibra total</b>	45.3752	58.1930	58.5030	69.1431	2.3987	2.5656	2.6760	3.3094
<b>Total</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>