

UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ



Trabajo de Titulación – Modalidad Proyecto de Investigación

Título:

Evaluación de la implementación del Forraje Verde Hidropónico de maíz, en la productividad y sostenibilidad de la ganadería lechera en Chone.

Autores:

Aveiga Saldarriaga María del Carmen

Suárez Panta Karla Nicolle

Unidad Académica:

Extensión Chone

Carrera:

Agronegocios

Tutor:

Ing. Juan Ramón Moreira Saltos, Mg.

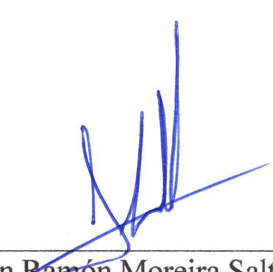
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Ing. Juan Ramón Moreira Saltos, Mg.; docente de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí
– Extensión Chone, en calidad de Tutor de Trabajo de Titulación.

CERTIFICO:

Que el presente Trabajo de Titulación en modalidad Proyecto de investigación con el título:
“Evaluación de la implementación del FVH de maíz en la productividad y sostenibilidad de la ganadería lechera en Chone.”, ha sido desarrollado, revisado, analizado y corregido exhaustivamente en horas de tutorías de titulación junto a los señores egresados para presentar su informe final de titulación, mismo que se encuentra listo para su presentación y aprobación. Además, resaltamos que las opiniones y conceptos vertidos en este documento son una contribución del trabajo, perseverancia y originalidad de sus autor/a Aveiga Saldarriaga María del Carmen y Suárez Panta Karla Nicolle, siendo de su exclusiva responsabilidad y autoría.

Chone, Agosto de 2026



Ing. Juan Ramón Moreira Saltos, Mg.

DOCENTE TUTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Quienes suscriben la presente, Saldarriaga María del Carmen y Suárez Panta Karla Nicolle, egresadas de la Carrera de Agronegocios, dejamos constancia que somos las autoras de este Proyecto de Investigación cuyo título es: **“Evaluación de la implementación del FVH de maíz en la productividad y sostenibilidad de la ganadería lechera en Chone.”**, En virtud de aquello manifiesto la autoría, originalidad de la conceptualización del trabajo; además, asumo toda la responsabilidad de las opiniones e investigaciones presentadas y vertidas en la misma.

Chone, agosto de 2026

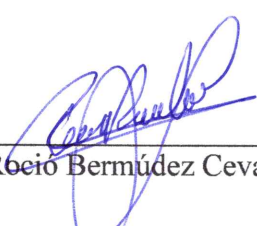
Aveiga Saldarriaga María del Carmen

Suárez Panta Karla Nicolle

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

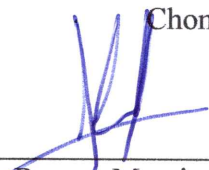
Los miembros del Tribunal Examinador aprueban el Trabajo de Titulación con modalidad Proyecto de Investigación, titulado: **“Evaluación de la implementación del FVH de maíz en la productividad y sostenibilidad de la ganadería lechera en Chone.”**, cuyos autores; Aveiga Saldarriaga María del Carmen y Suárez Panta Karla Nicolle egresados de la Carrera de Agronegocios, y como Tutor de Trabajo de Titulación el Ing. Juan Ramón Moreira Saltos, Mg.

Chone, agosto de 2026



Lcda. Rocío Bermúdez Cevallos, Mg.

DECANA



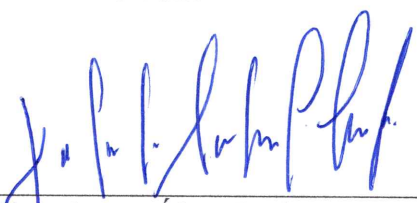
Ing. Juan Ramon Moreira Saltos, Mg.

TUTOR



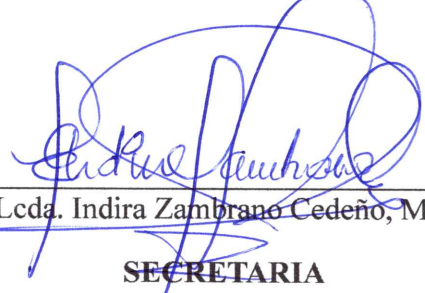
Ing. Katiuska Mendoza Rodríguez, Mg.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Ing. Jhon Arturo Álava Intriago, Mg.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Lcda. Indira Zambrano Cedeño, Mg.

SECRETARIA

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a la memoria de mi querido abuelo: gracias por regalarme tus enseñanzas, tu sabiduría y el ejemplo de tu vida. Gracias por guiarme con tu paciencia, por compartirme tus valores y por dejar en mí una huella que nadie podrá borrar. Cada paso que doy con honor y humildad lleva tu nombre y tu recuerdo vivo.

A mis padres, gracias por cada sacrificio silencioso, por cada esfuerzo hecho para darme lo mejor. Gracias por amarme sin condiciones, por formarme con el corazón y por enseñarme a caminar con dignidad. Todo lo que soy se lo debo enteramente a ustedes. A mi amado esposo, mi compañero de vida: gracias por caminar a mi lado, por ser mi apoyo incondicional, mi refugio y mi mayor motivación. Gracias por creer en mí incluso cuando yo dudaba, por compartir conmigo sueños y luchas, y por llenar mi vida de amor y fortaleza.

A mis profesores y maestros: gracias por abrirme las puertas del saber, por tener paciencia con mis dudas, por compartirme su experiencia y por inspirarme a dar siempre lo mejor de mí. Gracias por enseñarme a esforzarme y a valorar el conocimiento como una herramienta para crecer.

A mis amigos, María Isabel y Glicerio: gracias por estar a mi lado en las alegrías y en las dificultades, por su lealtad inquebrantable, por sus palabras de aliento y por celebrar mis logros con el mismo cariño que si fueran propios. Su amistad es un regalo inmenso que guardo con mucho cariño. Y finalmente, a mis amados hijos, mi mayor orgullo y razón de ser: todo lo bueno que he recibido y aprendido lo dejo hoy en sus manos. Lleven siempre en su corazón el respeto por los demás, la gratitud hacia quienes los aman y la fuerza para salir adelante con bondad

Aveiga María

AGRADECIMIENTO

Primeramente agradecida con Dios por haberme permitido llegar hasta aquí, a mi abuelo José Saldarriaga por enseñarme a amar la tierra, a cuidarla con paciencia y a entender que todo fruto lleva tiempo, sacrificio y cariño a lo que hacemos o queremos hacer, por sus consejos que siguen creciendo en cada cosecha de mi vida profesional. A mis padres: gracias por su esfuerzo, por darme raíces fuertes y por enseñarme a valorar cada trabajo honesto. Todo lo que soy se lo debo a ustedes.

A mis hijos: este logro es para ustedes y para ustedes, para que aprendan a respetar lo que nos da la vida y sigan amando esta tierra que nos sostiene.

A cada uno de mis profesores: gracias por compartir su sabiduría, y por su paciencia.

A mis amigos por estar siempre ahí, por acompañarme, apoyarme y celebrar cada logro junto a mí.

Aveiga María

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo, antes que nada, a Dios por darme la fuerza, salud y sabiduría para seguir adelante en cada momento de este camino universitario. Días en lo que pensé que no podría seguir, pero encontraba razones para levantarme y seguir luchando por este sueño por este título.

A mis padres que han sido mi motivación e impulso para nunca rendirme. Gracias por todos sus sacrificios que han hecho por mí en este proceso importante en mi vida, por creer en mis capacidades hasta cuando yo misma dudaba de mí, por siempre enseñarme que con esfuerzo y responsabilidad todo es posible hasta lo imposible, este logro también es de ustedes.

A mi familia, mi hermana que estuvo presente con cada palabra de motivación, sus consejos y acompañándome en los momentos difíciles que se presentaba, su cariño y confianza hacia mí fue fundamental para llegar hasta aquí.

También dedicar este logro a las personas que de una y otra manera formaron parte de mi proceso académico y me motivaron a no rendirme, cada palabra de ánimo y apoyo estoy agradecida con ellos.

Y como último, pero no menos importante, me dedico este trabajo a mí misma, por seguir no rendirme a pesar de las dificultades que se han aparecido en este proceso de mi vida, por mantener de pie y demostrarme a mí misma que si se puede y si pudo, que los sueños si se pueden hacer realidad, y que este es solo el inicio de nuevos desafíos y metas que espero alcanzar con la misma pasión y compromiso.

Suárez Karla

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Dios, por darme fortaleza, oportunidad y salud para poder culminar esta importante etapa de mi vida.

A mis padres y a mi familia, por su apoyo incondicional, su paciencia y confianza hacia mí en esta etapa tan importante, gracias por motivarme a seguir y no rendirme por estar presente en cada desafío y logro alcanzado.

A mis docentes, a mi tutor de tesis, por compartir sus enseñanzas, conocimientos y sus orientaciones, las cuales fueron muy importantes y fundamentales para mi desarrollo académico y para este trabajo.

También agradezco mis compañeros, quienes mutuamente nos brindábamos apoyo a lo largo de esta etapa universitaria y trabajo en equipo.

Suárez Karla

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo general evaluar la implementación del Forraje Verde Hidropónico (FVH) de maíz en la productividad y sostenibilidad de la ganadería lechera del cantón Chone, ante la escasez forrajera característica de la época seca. Metodológicamente, el estudio adoptó un enfoque mixto, de alcance descriptivo y explicativo, con un diseño experimental comparativo y longitudinal, en el que se aplicó una encuesta diagnóstica a productores ganaderos y un ensayo de campo con dos tratamientos (T0: sistema tradicional y T1: con suplementación de FVH) sobre 10 vacas, registrando variables productivas, hídricas y económicas mediante fichas técnicas y matrices de control. Los principales resultados evidenciaron un incremento del 23,5 % en la producción diaria de leche por vaca bajo el tratamiento con FVH, junto con una mejora en los sólidos totales y el contenido graso de la leche. El módulo hidropónico registró una huella hídrica de 2,02 litros por kilogramo de forraje producido, considerablemente eficiente frente al cultivo convencional en suelo. Pese al mayor costo operativo del sistema con FVH, la relación beneficio-costó resultó superior (1,52 frente a 1,48 del sistema tradicional), validando su viabilidad financiera. Se concluye que el FVH constituye una alternativa técnica, ambiental y económicamente sostenible para fortalecer la productividad ganadera local.

Palabras clave: forraje verde hidropónico, productividad láctea, huella hídrica, relación beneficio-costó, sostenibilidad ganadera.

ABSTRACT

The general objective of this research was to evaluate the implementation of hydroponic green fodder (HGF) of corn on the productivity and sustainability of dairy farming in the Chone canton, given the forage scarcity characteristic of the dry season. Methodologically, the study adopted a mixed-methods approach, with a descriptive and explanatory scope, and a comparative, longitudinal experimental design. A diagnostic survey was administered to livestock producers, and a field trial with two treatments (T0: traditional system and T1: with HGF supplementation) was conducted on 10 cows. Productive, water, and economic variables were recorded using technical data sheets and control matrices. The main results showed a 23.5% increase in daily milk production per cow under the HGF treatment, along with an improvement in total solids and milk fat content. The hydroponic module registered a water footprint of 2.02 liters per kilogram of fodder produced, considerably more efficient than conventional soil cultivation. Despite the higher operating costs of the hydroponic fodder (HVF) system, the benefit-cost ratio was superior (1.52 vs. 1.48 for the traditional system), validating its financial viability. It is concluded that HVF constitutes a technically, environmentally, and economically sustainable alternative for strengthening local livestock productivity.

Keywords: hydroponic green fodder, dairy productivity, water footprint, benefit-cost ratio, livestock sustainability.

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	II
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	III
APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO	VI
DEDICATORIA.....	VII
AGRADECIMIENTO	VIII
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
ÍNDICE.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS	XV
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	XVII
CAPÍTULO I	1
1. Introducción.....	1
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Justificación	3
1.3. Bases teóricas.....	3
1.3.1. Forraje verde hidropónico (FVH).....	3

Factores que influyen en la producción de forraje verde hidropónico	5
1.3.2. Sostenibilidad productiva en sistemas lecheros.....	8
CAPÍTULO II.....	10
2. Metodología.....	10
2.1. Diseño teórico.....	10
2.1.1. Definición de variables	10
2.1.2. Operacionalización de variables	10
2.1.3. Formulación del problema.....	11
2.1.4. Objetivos.....	11
2.1.5. Hipótesis	12
2.2. Diseño metodológico.....	12
2.2.1. Enfoque de la investigación.....	12
2.2.2. Alcance de la investigación	13
2.2.3. Diseño de la investigación	14
2.3. Población y muestra.....	14
2.3.1. Proceso de producción del forraje verde hidropónico (FVH)	15
2.4. Diseño experimental y operacionalización.....	16
2.4.1. Técnicas e instrumentos de recolección	17
2.4.2. Análisis estadístico	18

CAPÍTULO III.....	19
3. Resultados.....	19
3.1. Resultados de la encuesta aplicada a los ganaderos	19
3.2. Resultados de la ficha Técnica de registro lácteo (Fase Experimental)	24
3.3. Resultados de la matriz de control hídrico (sostenibilidad ambiental).....	25
3.4. Resultados de la matriz de costos e ingresos (Sostenibilidad Económica)	26
3.5. Discusión	27
CAPÍTULO IV	29
4. Propuesta.....	29
4.1. Título.....	29
4.2. Antecedentes.....	29
4.3. Justificación	29
4.4. Objetivo	30
4.5. Fundamentación.....	30
4.5.1. Fase 1. Instalación del módulo hidropónico	30
4.5.2. Fase 2. Preparación y siembra de la semilla	30
4.5.3. Fase 3. Manejo y monitoreo del cultivo	30
4.5.4. Fase 4. Cosecha e incorporación a la dieta	31
4.5.5. Fase 5. Registro productivo y económico.....	31

4.5.6. Fase 6. Capacitación y acompañamiento técnico	31
4.6. Beneficios	31
CAPÍTULO V	33
5. Conclusiones y recomendaciones	33
5.1. Conclusiones	33
5.2. Recomendaciones	34
Referencias	35
ANEXOS	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	8
<i>Calidad nutricional y bromatológica del FVH de maíz.</i>	<i>8</i>
Tabla 2.	10
<i>Operacionalización de variables.</i>	<i>10</i>
Tabla 3.	17
<i>Diseño experimental.</i>	<i>17</i>
Tabla 4.	19
<i>¿Qué tipo de alimentación utiliza principalmente en su hato ganadero?</i>	<i>19</i>
Tabla 5.	20
<i>Durante la época seca, ¿sufre escasez de alimento para sus animales?</i>	<i>20</i>
Tabla 6.	21
<i>¿Tiene conocimiento previo sobre qué es y cómo se produce el Forraje Verde Hidropónico (FVH)?</i> <i>.....</i>	<i>21</i>
Tabla 7.	22
<i>¿Estaría dispuesto a implementar un módulo hidropónico en su finca para suplementar a sus vacas</i> <i>en época seca?</i>	<i>22</i>
Tabla 8.	23
<i>¿Cuál considera que es la mayor limitante para adoptar nuevas tecnologías alimenticias en</i> <i>Chone?</i>	<i>23</i>

Tabla 9.	24
<i>Producción diaria de leche por tratamiento — Promedios del período experimental.</i>	<i>24</i>
Tabla 10.	25
<i>Calidad de la leche — Sólidos totales y grasa por tratamiento.</i>	<i>25</i>
Tabla 11.	25
<i>Consumo de agua del módulo FVH — Lote de producción N° 1.</i>	<i>25</i>
Tabla 12.	26
<i>Costos e ingresos diarios comparados entre sistemas.</i>	<i>26</i>

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. ¿Qué tipo de alimentación utiliza principalmente en su hato ganadero?.....	19
Gráfico 2. Durante la época seca, ¿sufre escasez de alimento para sus animales?.....	20
Gráfico 3. ¿Tiene conocimiento previo sobre qué es y cómo se produce el Forraje Verde Hidropónico (FVH)?.....	21
Gráfico 4. ¿Estaría dispuesto a implementar un módulo hidropónico en su finca para suplementar a sus vacas en época seca?	22
Gráfico 5. ¿Cuál considera que es la mayor limitante para adoptar nuevas tecnologías alimenticias en Chone?	24

CAPÍTULO I

1. Introducción

A nivel global, la variabilidad climática ha generado una crisis de disponibilidad de recursos hídricos que compromete la estabilidad de los sistemas pecuarios tradicionales. En el contexto nacional, la ganadería lechera ecuatoriana produce aproximadamente 5.7 millones de litros diarios, enfrentando el desafío de mantener estos volúmenes frente a la degradación de suelos y el costo creciente de los insumos comerciales (INEC, 2023). Esta presión ambiental y económica exige la transición hacia modelos de alimentación que optimicen el uso del suelo y garanticen la oferta nutricional constante.

En la provincia de Manabí, específicamente en su zona seca, la estacionalidad climática provoca un déficit forrajero recurrente que impacta severamente en la condición corporal del ganado. La falta de precipitaciones durante más de seis meses al año reduce la oferta de biomasa de las pasturas naturales, lo que obliga a los productores a una suplementación externa que eleva los costos operativos (MAG, 2023). Esta problemática meso-climática ha convertido a la región en un escenario de alta vulnerabilidad para la seguridad alimentaria ganadera y la rentabilidad sectorial.

El cantón Chone, principal núcleo lechero de la región, refleja esta crisis mediante una dependencia crítica de forrajes de baja calidad durante la época de sequía. La implementación del Forraje Verde Hidropónico (FVH) de maíz surge como una alternativa estratégica para mitigar esta escasez, permitiendo la producción de biomasa en espacios reducidos y con un consumo eficiente de agua. Este estudio se enfoca en evaluar cómo esta tecnología hidropónica puede estabilizar la producción de leche y fortalecer la resiliencia productiva del cantón (MAG, 2024).

1.1. Antecedentes

La producción lechera en el litoral ecuatoriano se caracteriza por sistemas de doble propósito que enfrentan brechas tecnológicas significativas en la conversión alimenticia. Según Zambrano y Vera (2022), la baja digestibilidad de los pastos tropicales en Manabí limita el potencial genético de los hatos, resultando en una eficiencia productiva inferior al promedio nacional. Esta realidad técnica subraya la urgencia de integrar suplementos de alta densidad nutricional que no dependan de la extensión territorial ni de los ciclos de lluvia para su cosecha.

Desde la perspectiva fisiológica, el FVH de maíz representa una mejora biológica sustancial debido al proceso de germinación controlada. Castro (2021) explica que, durante la fase hidropónica, el almidón del grano se hidroliza en azúcares simples y aminoácidos mediante la activación enzimática, lo que eleva la digestibilidad del alimento por encima del 90%. Esta transformación metabólica permite que el bovino absorba nutrientes con menor gasto energético, traducándose en una optimización inmediata del volumen de leche producido por animal suplementado.

En términos de eficiencia sistémica, investigaciones en entornos de estrés hídrico demuestran que el FVH permite un retorno de inversión superior a los sistemas convencionales de balanceado comercial. Rodríguez et al. (2023) sostienen que la estabilidad en la oferta de forraje fresco reduce las fluctuaciones en la curva de lactancia, permitiendo una planificación financiera más robusta en la unidad de producción. Estos estudios confirman que la tecnología hidropónica no solo resuelve un problema biológico, sino que estabiliza la estructura de costos fijos del agronegocio lechero.

1.2. Justificación

Desde la óptica de los agronegocios, esta investigación es fundamental porque aborda la rentabilidad financiera a través de la reducción de costos operativos. La suplementación con alimento balanceado tradicional representa a menudo el costo variable más alto en la lechería de Chone; por lo tanto, la producción de FVH de maíz se justifica como una estrategia de integración vertical que permite al ganadero generar su propio insumo de alta calidad. Al analizar el impacto en la relación beneficio-costos, el proyecto trasciende el ámbito agronómico para enfocarse en la sostenibilidad financiera y la optimización del margen de utilidad empresarial.

En el plano práctico y sectorial, el estudio es conveniente para los ganaderos y asociaciones de Chone, proporcionando una base científica para la toma de decisiones gerenciales frente a la crisis climática. Los resultados servirán a empresas del sector agroindustrial e institutos de investigación para validar modelos de inversión en tecnologías de bajo impacto hídrico. Al precisar explícitamente la viabilidad económica del sistema, la investigación fomenta la modernización del sector ganadero local, transformando unidades productivas tradicionales en empresas agropecuarias competitivas y resilientes.

1.3. Bases teóricas

1.3.1. Forraje verde hidropónico (FVH)

El forraje verde hidropónico es una alternativa de alimentación de excelente calidad, de bajo costo, baja demanda de insumos externos (fertilizantes y plaguicidas), al sistema productivo y permitiéndose su desarrollo en cualquier etapa del año, es el resultado de la obtención de biomasa cereales y granos (cebada, maíz, trigo, etc), pasando por el poder germinativo, en el cual se liberan todos los nutrientes del grano para permitir que la planta crezca, en un tiempo lapso de 10 a 14

días están disponibles y digeribles para que las especies zootécnicas lo consuman (Mejía y Reyes, 2021).

Ventajas del FVH

El forraje verde hidropónico (FVH) se ha consolidado como una alternativa innovadora en la producción forrajera, debido a sus múltiples beneficios técnicos, productivos y nutricionales frente a los sistemas convencionales. Su implementación permite optimizar recursos, reducir tiempos de producción y ofrecer un alimento de alta calidad para el ganado, aspectos relevantes en sistemas de ganadería lechera ubicados en zonas con limitaciones de agua, espacio o variabilidad climática (Juárez et al., 2023).

Entre las principales ventajas del FVH según Juárez et al., (2023) se destacan:

- Ahorro de agua, ya que las pérdidas por infiltración y escorrentía son mínimas en comparación con la producción tradicional de forrajes.
- Reducción de costos de producción y mejor uso del espacio, debido a que el sistema puede instalarse de forma modular y vertical, disminuyendo la necesidad de grandes extensiones de terreno.
- Rapidez en el ciclo productivo, permitiendo obtener forraje en un periodo aproximado de 10 a 14 días; tiempos mayores pueden afectar su valor nutricional.
- Alta calidad nutricional, caracterizada por un contenido significativo de vitaminas A y E, minerales como calcio, hierro y fósforo, además de baja proporción de celulosa y lignina, lo que favorece su digestibilidad.

Estas ventajas evidencian el potencial del FVH para mejorar la eficiencia alimentaria y contribuir al incremento de la productividad en sistemas de ganadería lechera del cantón Chone.

Desventajas del FVH

A pesar de los beneficios asociados al forraje verde hidropónico, su implementación también presenta ciertas limitaciones que deben ser consideradas para una evaluación integral del sistema. Estas desventajas están relacionadas principalmente con aspectos económicos, nutricionales y de manejo, los cuales pueden influir en su adopción por parte de los productores (Juárez et al., 2023).

Entre las principales desventajas del FVH se identifican:

- Costos iniciales de instalación, que pueden representar una inversión significativa; no obstante, estos pueden reducirse mediante el uso de infraestructuras de bajo costo, como invernaderos tipo túnel.
- Bajo contenido de materia seca, lo que hace necesario complementar la dieta del ganado con otros alimentos fibrosos para cubrir adecuadamente los requerimientos nutricionales.
- Riesgos asociados a la calidad de la semilla, ya que el uso de semillas tratadas con pesticidas o productos químicos puede afectar el desarrollo del forraje y comprometer su calidad e inocuidad.

La consideración de estas desventajas permite valorar de forma objetiva la viabilidad técnica y productiva del FVH dentro de los sistemas lecheros del cantón Chone.

Factores que influyen en la producción de forraje verde hidropónico

La producción y calidad del forraje verde hidropónico dependen de diversos factores ambientales y técnicos que inciden directamente en su rendimiento y valor nutricional. El control adecuado de estas variables resulta fundamental para garantizar una producción eficiente y

constante, especialmente en sistemas ganaderos que buscan estabilidad alimentaria durante todo el año (Mejía & Reyes, 2020).

Entre los principales factores que influyen en la producción del FVH se encuentran:

- Calidad y cantidad de luz, considerada uno de los factores más determinantes para el crecimiento y la producción de biomasa.
- Temperatura, que influye en la velocidad de germinación y desarrollo del forraje.
- Humedad, necesaria para mantener condiciones óptimas durante el proceso de crecimiento.
- Variedad de la semilla, ya que diferentes variedades presentan rendimientos y características nutricionales distintas.
- Tiempo de remojo de la semilla, que incide en la activación del proceso de germinación.
- Calidad del grano, relacionada con la capacidad de germinación y el desarrollo uniforme del forraje.
- Suministro de nutrientes, indispensable para el crecimiento adecuado del FVH.
- Presencia de patógenos, que puede afectar negativamente la producción y calidad del forraje (Mejía & Reyes, 2020).

El análisis de estos factores resulta clave para comprender el comportamiento productivo del FVH y su adecuada adaptación a las condiciones agroclimáticas del cantón Chone, lo que incide directamente en la productividad y sostenibilidad de la ganadería lechera.

Forraje verde hidropónico aplicado a la ganadería tropical

El forraje verde hidropónico (FVH) se ha propuesto como una alternativa viable para la alimentación de rumiantes en sistemas de producción tropicales, donde la disponibilidad estacional de forrajes convencionales y los efectos del clima pueden limitar el suministro de alimento de calidad. Esta técnica consiste en la germinación de semillas y el crecimiento del forraje en condiciones controladas de luz, temperatura y humedad, produciendo biomasa en un corto período (generalmente entre 9 y 15 días) y con una alta densidad de nutrientes (FAO, 2022)

Investigaciones han demostrado que el cultivo hidropónico de maíz y otros granos permite obtener importantes rendimientos de forraje utilizando menos agua y espacio en comparación con los métodos de cultivo tradicionales. Esto representa una ventaja para los sistemas ganaderos en zonas tropicales con constantes limitaciones ambientales (López et al., 2019).

Además, estudios en producción animal indican que el forraje hidropónico (FH) es fácilmente aceptado por el ganado lechero y no es rechazado al incorporarse a dietas mixtas, lo que permite su uso como suplemento alimenticio durante periodos de escasez de forraje natural (Romero et al., 2019).

Estos antecedentes respaldan la aplicación del FH en condiciones tropicales, como las que se presentan en la ganadería lechera del cantón Chone, donde el suministro regular de alimento de calidad puede influir directamente en la productividad y la estabilidad nutricional de los hatos.

Forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays*)

Entre las plantas más utilizadas para hidroponía se encuentra el maíz (*Zea mays*), debido a su disponibilidad de semillas de alta calidad, valor nutricional y altos rendimientos de biomasa; generando un elevado y constante volumen de biomasa hidropónica (Morales et al., 2012).

Calidad nutricional y bromatología del forraje verde hidropónico de maíz

Suárez (2015) afirma ciertos valores correspondientes a parámetros relacionados con la calidad nutricional que presenta el forraje verde hidropónico de maíz, esto se refleja en la tabla 1 que se muestra a continuación:

Tabla 1.

Calidad nutricional y bromatológica del FVH de maíz.

Parámetros	Valor	Unidad
Digestibilidad	80 – 92	%
Proteína cruda	13 – 20	%
Fibra cruda	12 – 25	%
Grasa	2.8 - 5.37	%
ELN	46 – 67	%
FDN	65 – 85	%
Vitamina A	25.1	Ui/kg
Vitamina C	45.1 – 154	Mg/kg
Vitamina E	26.3	Ui/kg
Calcio	0.11	%
Fósforo	0.30	%
pH	6.0 – 6.5	%
Palatabilidad	Excelente	
Materia seca	12 – 20	%

Fuente: (Suárez, 2015)

1.3.2. Sostenibilidad productiva en sistemas lecheros

La sostenibilidad productiva en los sistemas lecheros implica no solo aumentar la producción de leche, sino también optimizar el uso de los recursos naturales, mejorar la eficiencia alimentaria y reducir el impacto ambiental asociado a la producción ganadera. En este sentido, los sistemas lecheros tropicales enfrentan desafíos particulares debido a la variabilidad climática, la

disponibilidad irregular de pastos de calidad y los altos costos del alimento, lo que obliga a explorar estrategias alternativas de producción de forrajes (FONTAGRO, 2025).

La producción ganadera sostenible requiere prácticas que reduzcan la presión sobre recursos como la tierra y el agua, a la vez que garantizan un suministro continuo de alimento nutritivo durante todo el ciclo de producción. El forraje verde hidropónico, con su corto ciclo de producción y menores requerimientos hídricos en comparación con los sistemas convencionales de cultivo de forrajes, es una opción que contribuye a una mayor eficiencia de los recursos y puede fortalecer la sostenibilidad operativa del sistema lechero (Durany y Urias, 2022).

Además, las experiencias en sistemas de producción han vinculado la adopción de prácticas alternativas, como el uso de forrajes hidropónicos y otras fuentes de proteína, con menores costos de alimentación y mayor resiliencia ante períodos de estrés alimentario, aspectos clave para garantizar la sostenibilidad económica y productiva de los productores lecheros (Delis et al., 2025).

La incorporación de forrajes como los hidropónicos en las estrategias de producción lechera permite a los productores abordar de manera más eficiente los desafíos ambientales y sociales asociados con la sostenibilidad del sector en las regiones tropicales.

CAPÍTULO II

2. Metodología

2.1. Diseño teórico

2.1.1. Definición de variables

Variable independiente: Forraje verde hidropónico (FVH) de maíz.

Variable dependiente: Productividad y sostenibilidad de la ganadería lechera.

2.1.2. Operacionalización de variables

Tabla 2.

Operacionalización de variables.

Variable	Tipo	Dimensiones	Indicadores	Técnica/instrumento
Forraje Verde Hidropónico (FVH) de maíz	Independiente	Proceso productivo	Días de ciclo; rendimiento de biomasa (kg)	Ficha técnica de registro / observación directa
		Eficiencia hídrica	Consumo de agua por lote (L); huella hídrica (L/kg)	Matriz de control hídrico
		Costo de producción	Costo de semilla, energía e insumos (\$)	Matriz de costos e ingresos
Productividad y sostenibilidad de la ganadería lechera	Dependiente	Productividad láctea	Volumen de producción diaria por vaca (L)	Ficha de registro diario de producción
		Calidad del producto	% Sólidos totales; % grasa	Muestreo de calidad de leche
		Sostenibilidad económica	Estructura de costos de alimentación; relación	Matriz de costos e ingresos / análisis financiero

2.1.3. Formulación del problema

Problema general

¿Cuál es el impacto de la implementación del Forraje Verde Hidropónico de maíz en la productividad y sostenibilidad de la ganadería lechera del cantón Chone?

Problemas específicos

¿Cuál es la variación en el volumen de producción diaria de leche por vaca tras la incorporación del Forraje Verde Hidropónico de maíz?

¿Cuál es el impacto económico de la tecnología hidropónica en la estructura de costos de alimentación de las unidades ganaderas?

¿Cuál es la relación beneficio-costo derivada del uso del Forraje Verde Hidropónico que permite validar la viabilidad financiera del sistema productivo?

2.1.4. Objetivos

Objetivo general

Evaluar el efecto de la implementación del forraje verde hidropónico de maíz sobre la productividad y la sostenibilidad económica de la ganadería lechera en el cantón Chone.

Objetivos específicos

- Cuantificar la variación en el volumen de producción diaria de leche por vaca tras la incorporación del forraje verde hidropónico de maíz.

- Determinar el impacto económico de la tecnología hidropónica en la estructura de costos de alimentación de las unidades ganaderas.
- Calcular la relación beneficio-costo derivada del uso de forraje verde hidropónico para validar la viabilidad financiera del sistema productivo.

2.1.5. Hipótesis

Hipótesis general

La implementación del Forraje Verde Hidropónico de maíz incide significativamente en la productividad y sostenibilidad de la ganadería lechera del cantón Chone.

Hipótesis específicas

La incorporación del forraje verde hidropónico de maíz genera un incremento significativo en el volumen de producción diaria de leche por vaca.

La incorporación de la tecnología hidropónica modifica la estructura de costos de alimentación de las unidades ganaderas sin comprometer su sostenibilidad económica.

La relación beneficio-costo del sistema con forraje verde hidropónico es superior a la del sistema tradicional, validando su viabilidad financiera.

2.2. Diseño metodológico

2.2.1. Enfoque de la investigación

La presente investigación adoptó un enfoque mixto (cuali-cuantitativo), debido a que se fundamentó en la recolección y análisis de datos numéricos relacionados con la producción diaria de leche, el consumo de agua del módulo hidropónico y los indicadores económicos del sistema, complementados con la interpretación cualitativa de la información obtenida mediante la encuesta

aplicada a los ganaderos del cantón Chone sobre sus prácticas alimenticias y su disposición hacia la adopción tecnológica. Este enfoque permitió medir de manera objetiva el efecto del Forraje Verde Hidropónico sobre la productividad y la rentabilidad del hato y, al mismo tiempo, comprender desde la perspectiva de los propios productores las condiciones, limitantes y percepciones que rodean su eventual implementación.

Según Hernández et al. (2014), el enfoque mixto combina los métodos cuantitativo y cualitativo dentro de un mismo estudio con el propósito de lograr una comprensión más completa del fenómeno investigado, aprovechando las fortalezas de ambos enfoques para responder con mayor solidez a las preguntas de investigación.

2.2.2. Alcance de la investigación

El alcance de la investigación fue descriptivo, explicativo y propositivo, ya que permitió caracterizar el sistema de alimentación ganadera predominante y las condiciones de escasez forrajera en el cantón Chone, así como explicar la relación de causa-efecto entre la incorporación del FVH de maíz y las variaciones observadas en la producción láctea, el consumo hídrico y los indicadores financieros del sistema. A partir de estos hallazgos, se formuló una propuesta de implementación orientada al fortalecimiento de la ganadería lechera local. Este nivel de investigación permitió sustentar la propuesta final en evidencia recolectada directamente en campo, tanto de la encuesta diagnóstica como del ensayo comparativo entre tratamientos, otorgando mayor solidez a las conclusiones alcanzadas.

Según Hernández et al. (2014), los estudios explicativos tienen como finalidad establecer las causas que originan un fenómeno determinado, al examinar la relación entre una o más variables independientes y su efecto sobre una variable dependiente, en condiciones controladas o comparadas.

2.2.3. *Diseño de la investigación*

El diseño de la investigación fue experimental, de tipo comparativo y de corte longitudinal, debido a que se manipuló de manera deliberada la variable independiente mediante la aplicación de dos tratamientos alimenticios (T0: sistema tradicional y T1: sistema con suplementación de FVH) sobre un mismo grupo de 10 vacas, registrando su comportamiento productivo a lo largo de un periodo definido para cada fase. La información se recolectó de forma diaria durante ambos tratamientos mediante fichas técnicas de registro de producción, matrices de control hídrico y matrices de costos e ingresos, además de la encuesta aplicada previamente a los productores del cantón, garantizando condiciones homogéneas en la aplicación de los instrumentos para asegurar la validez de los resultados.

Según Hernández et al. (2014), los diseños experimentales son aquellos en los que el investigador manipula deliberadamente una o más variables independientes para observar su efecto sobre una o más variables dependientes, dentro de una situación de control diseñada por el propio investigador; asimismo, los estudios longitudinales recolectan datos en distintos momentos a lo largo del tiempo, con el propósito de analizar la evolución y los cambios que experimentan las variables durante el periodo de estudio.

2.3. *Población y muestra*

El diseño muestral de la investigación se estructuró en dos componentes independientes para abordar de forma diferenciada la fase diagnóstica-social y la fase experimental – productiva:

Para la fase de diagnóstico social, el universo de estudio estuvo conformado por los ganaderos del cantón Chone, cuya población se estimó en $N = 4,500$ productores (MAG, 2023).

Al tratarse de una población finita y conocida, se aplicó la fórmula de muestreo probabilístico aleatorio simple:

$$n = \frac{Z^2 \cdot P \cdot Q \cdot N}{E^2 \cdot (N - 1) + Z^2 \cdot Q \cdot Q}$$

Donde se empleó un nivel de confianza del 95 % ($Z = 1.96$), un margen de error del 5 % ($E = 0.05$) y una probabilidad de ocurrencia del fenómeno del 50 % ($P = 0.5$; $Q = 0.5$). Tras la resolución matemática de la fórmula, la muestra específica quedó constituida por 354 productores ganaderos, a quienes se les aplicó una encuesta estructurada para evaluar la percepción y viabilidad de adopción de tecnologías de suplementación alternativa en el cantón.

Para la fase de evaluación productiva, se seleccionó una muestra no probabilística e intencional conformada por diez vacas lecheras pertenecientes a la finca ULEAM. Este tamaño de muestra se justifica rigurosamente bajo criterios de control experimental y estandarización biológica; al tratarse de un ensayo de corte longitudinal (diseño intra-sujeto), se priorizó la homogeneidad absoluta de las unidades (uniformidad estricta en su etapa de lactancia, edad, número de partos y estado sanitario óptimo) para neutralizar la variabilidad individual y evitar sesgos en la medición de las variables en campo. Asimismo, este número de cabezas responde estrictamente a la capacidad logística, de infraestructura y de manejo controlado de la unidad experimental, garantizando un monitoreo diario y de alta precisión en el registro de los datos zootécnicos.

2.3.1. Proceso de producción del forraje verde hidropónico (FVH)

La producción del FVH de maíz se realizó en el módulo hidropónico de la Finca Experimental “Tigrillo” utilizando una estructura protegida con polisombra para controlar la

radiación solar. El proceso técnico se desarrolló en ciclos de 12 a 14 días mediante las siguientes etapas secuenciales:

1. **Selección y limpieza:** Clasificación manual del grano de maíz criollo local, eliminando impurezas, semillas partidas o vanas.
2. **Desinfección:** Inmersión del grano en una solución de hipoclorito de sodio al 1 % durante 15 minutos para eliminar esporas de hongos y bacterias, seguido de un lavado profundo con agua destilada.
3. **Pre-germinación (Remojo y aireo):** Hidratación en agua limpia por un período de 24 horas, intercalando una fase de aireación de 1 hora a la mitad del proceso para activar el metabolismo de la semilla.
4. **Siembra:** Distribución homogénea de la semilla en bandejas plásticas inertes a una densidad de siembra de 3.5 kg/m².
5. **Riego y Cosecha:** Aplicación de riegos cortos automatizados mediante un sistema de nebulización programado, utilizando agua libre de nutrientes químicos. Al alcanzar una altura promedio de 20 a 25 cm, la biomasa completa (constituida por raíces entrelazadas, restos de semillas y tallos tiernos) fue cosechada en forma de alfombra forrajera para su suministro inmediato.

2.4. Diseño experimental y operacionalización

Se empleó un diseño cuasi – experimental de corte longitudinal (antes-después) con una duración total de 37 días de evaluación continua. El experimento se dividió en tres fases consecutivas para evaluar el efecto del cambio de dieta en las mismas 10 unidades de producción:

Tabla 3.

Diseño experimental.

Tratamiento / fase	Nº de vacas	Tipo de dieta	Porcentaje de FVH	Duración	Descripción
0 (Testigo / Control)		Pastoreo tradicional de la finca	0 % FVH	15 días	Fase de Medición: Las vacas consumen solo el pasto habitual. Se registra diariamente la producción base de leche de cada vaca.
Período de Adaptación	10 vacas	Pasto + introducción gradual de FVH	Cambio progresivo	7 días	Fase de Transición: No se miden variables. Se acostumbra el sistema digestivo del animal al nuevo alimento para evitar problemas ruminales.
T1 (Experimental)		Pastoreo tradicional + FVH de maíz	30 % de la ración (12 kg/día)	15 días	Fase de Medición: Se incluye el Forraje Verde Hidropónico. Se registra diariamente la producción de leche para evaluar el impacto del suplemento.

Elaborado por: Autor del proyecto.

2.4.1. Técnicas e instrumentos de recolección

Se utilizaron técnicas de encuesta para el componente social, y de registro directo y observación participante para el componente de campo. Los instrumentos consistieron en:

- **Cuestionario de encuesta:** Formulario estructurado físico y digital validado, dirigido a los 354 productores ganaderos seleccionados en Chone.

- **Ficha de registro de producción:** Matriz técnica individualizada para anotar los litros diarios de leche por vaca.
- **Matriz de costos e indicadores:** Hoja de cálculo parametrizada de elaboración propia para la determinación de la relación beneficio-costos e indicadores de sensibilidad económica.

2.4.2. Análisis estadístico

Los resultados fueron procesados mediante el programa estadístico InfoStat (2024). Se identificó el cumplimiento de los supuestos de normalidad a través de la prueba de Shapiro-Wilk. Para la comparación de medias de la producción láctea y los costos operativos entre el sistema tradicional y el sistema con FVH, se aplicó la prueba T de Student para muestras relacionadas (debido al diseño longitudinal intra-sujeto), utilizando un nivel de significancia de $p < 0.05$. En el caso de aquellas variables cuantitativas que no cumplieron con los supuestos de normalidad, se empleó la prueba no paramétrica de Wilcoxon. Los datos recopilados de la encuesta social se analizaron mediante estadística descriptiva utilizando tablas de frecuencias absolutas y porcentajes acumulados.

CAPÍTULO III

3. Resultados

3.1. Resultados de la encuesta aplicada a los ganaderos

En relación con el sistema de alimentación empleado, el pastoreo exclusivo continúa siendo la práctica predominante entre los ganaderos, con un 40 % de las respuestas. Un porcentaje considerable (35 %) complementa el pasto con balanceado comercial, mientras que el uso de subproductos agrícolas alcanza apenas el 20 %. Estos resultados evidencian una dependencia significativa de las condiciones naturales del pastizal, con un uso todavía limitado de fuentes alternativas de nutrición animal.

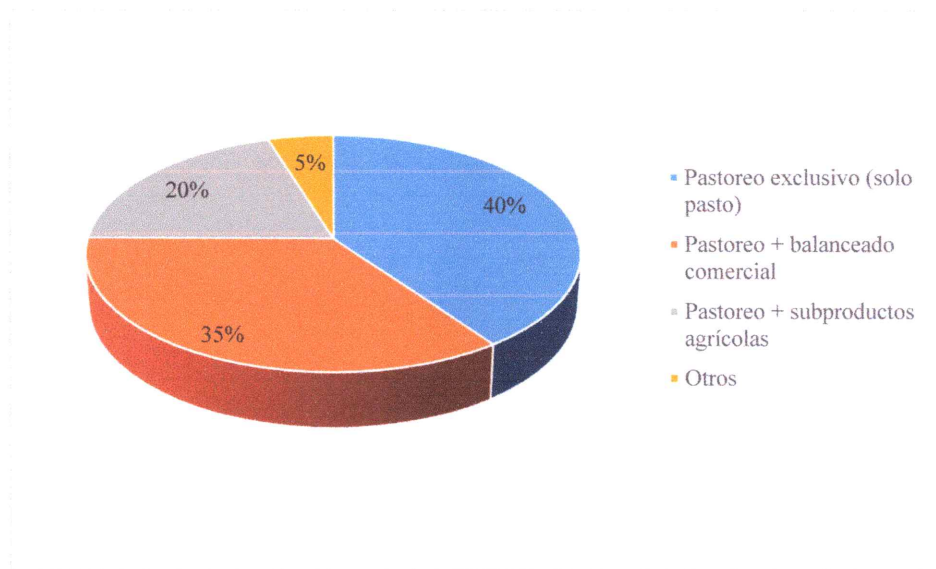
Tabla 4.

¿Qué tipo de alimentación utiliza principalmente en su hato ganadero?

Indicador	Frecuencia	Porcentaje (%)
Pastoreo exclusivo (solo pasto)	142	40 %
Pastoreo + balanceado comercial	124	35 %
Pastoreo + subproductos agrícolas	71	20 %
Otros	17	5 %
Total	354	100 %

Elaborado por: Autor del proyecto.

Gráfico 1. *¿Qué tipo de alimentación utiliza principalmente en su hato ganadero?*



Elaborado por: Autor del proyecto.

La escasez de alimento durante la época seca afecta a la gran mayoría de los productores encuestados. El 45 % la califica como crítica y el 40 % como moderada, sumando un 85 % de hatos ganaderos vulnerables ante la reducción estacional del pasto. Solo el 15 % declara contar con reservas suficientes para atravesar este periodo sin dificultades, lo que confirma la necesidad de alternativas alimenticias complementarias en el cantón.

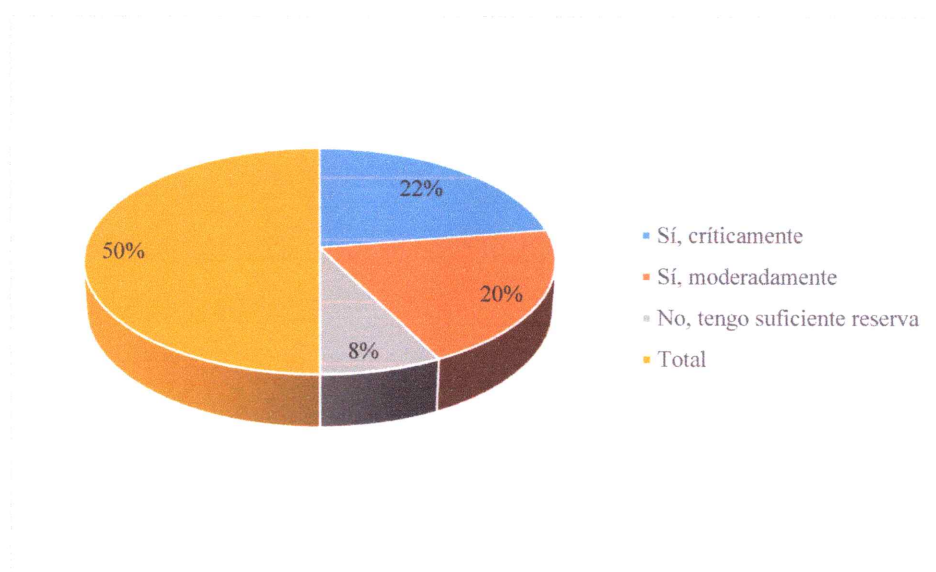
Tabla 5.

Durante la época seca, ¿sufre escasez de alimento para sus animales?

Indicador	Frecuencia	Porcentaje (%)
Sí, críticamente	159	45 %
Sí, moderadamente	142	40 %
No, tengo suficiente reserva	53	15 %
Total	354	100 %

Elaborado por: Autor del proyecto.

Gráfico 2. Durante la época seca, ¿sufre escasez de alimento para sus animales?



Elaborado por: Autor del proyecto.

Frente al Forraje Verde Hidropónico, casi la mitad de los ganaderos (47 %) manifiesta haber oído hablar del tema sin conocer a fondo su proceso productivo. Un 38 % desconoce por completo esta alternativa tecnológica, y solo el 15 % afirma dominar el proceso de producción. Este panorama refleja una brecha de conocimiento técnico que podría convertirse en una barrera para la adopción de la tecnología si no se acompaña de procesos de capacitación.

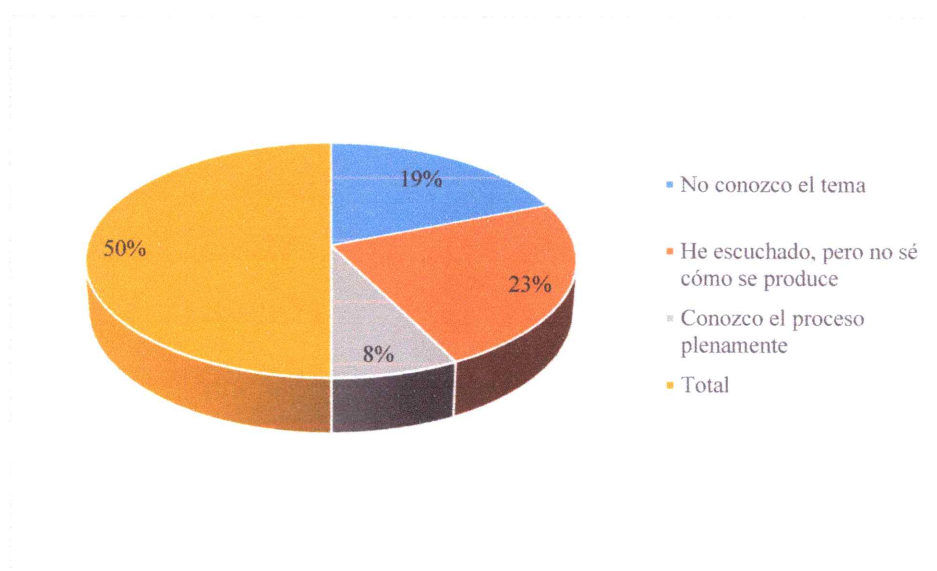
Tabla 6.

¿Tiene conocimiento previo sobre qué es y cómo se produce el Forraje Verde Hidropónico (FVH)?

Indicador	Frecuencia	Porcentaje (%)
No conozco el tema	135	48 %
He escuchado, pero no sé cómo se produce	166	47 %
Conozco el proceso plenamente	53	15 %
Total	354	100 %

Elaborado por: Autor del proyecto.

Gráfico 3. ¿Tiene conocimiento previo sobre qué es y cómo se produce el Forraje Verde Hidropónico (FVH)?



Elaborado por: Autor del proyecto.

La disposición hacia la implementación de un módulo hidropónico es mayoritariamente positiva, aunque condicionada. El 48 % de los encuestados aceptaría la propuesta siempre que reciba capacitación previa, y un 42 % se muestra totalmente dispuesto a adoptarla sin reservas. Únicamente el 10 % descarta la idea por considerarla costosa o compleja, lo que sugiere un terreno favorable para introducir esta tecnología si se acompaña de un componente formativo.

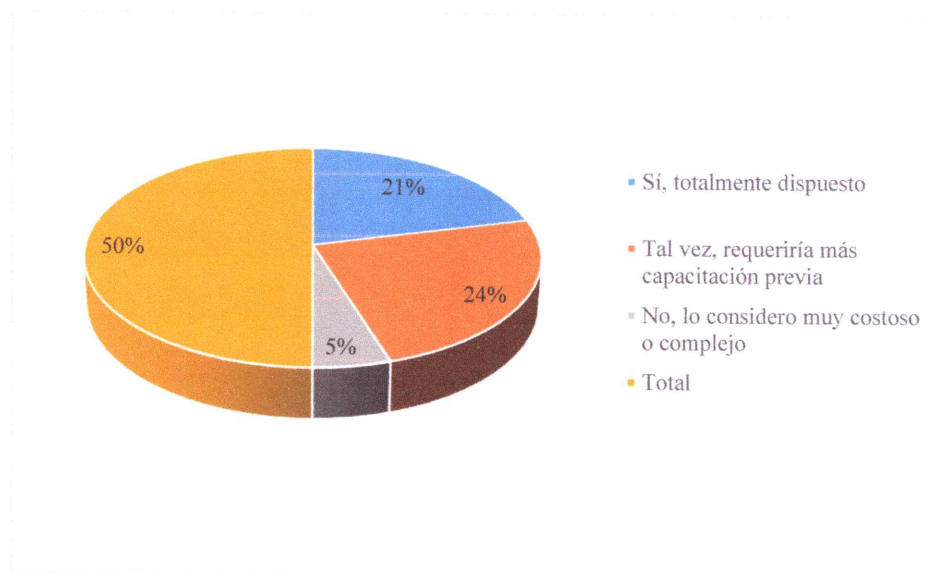
Tabla 7.

¿Estaría dispuesto a implementar un módulo hidropónico en su finca para suplementar a sus vacas en época seca?

Indicador	Frecuencia	Porcentaje (%)
Sí, totalmente dispuesto	149	42 %
Tal vez, requeriría más capacitación previa	170	48 %
No, lo considero muy costoso o complejo	35	10 %
Total	354	100 %

Elaborado por: Autor del proyecto.

Gráfico 4. ¿Estaría dispuesto a implementar un módulo hidropónico en su finca para suplementar a sus vacas en época seca?



Elaborado por: Autor del proyecto.

Entre las principales limitantes percibidas, el financiamiento económico se posiciona como la de mayor peso, con un 35 % de las menciones. La falta de asistencia técnica y capacitación le sigue de cerca con un 30 %, mientras que la disponibilidad de agua para riego representa un 22 %. La desconfianza en los resultados productivos, con un 13 %, resulta la barrera menos determinante, lo que indica que las restricciones estructurales pesan más que la resistencia actitudinal frente a la innovación.

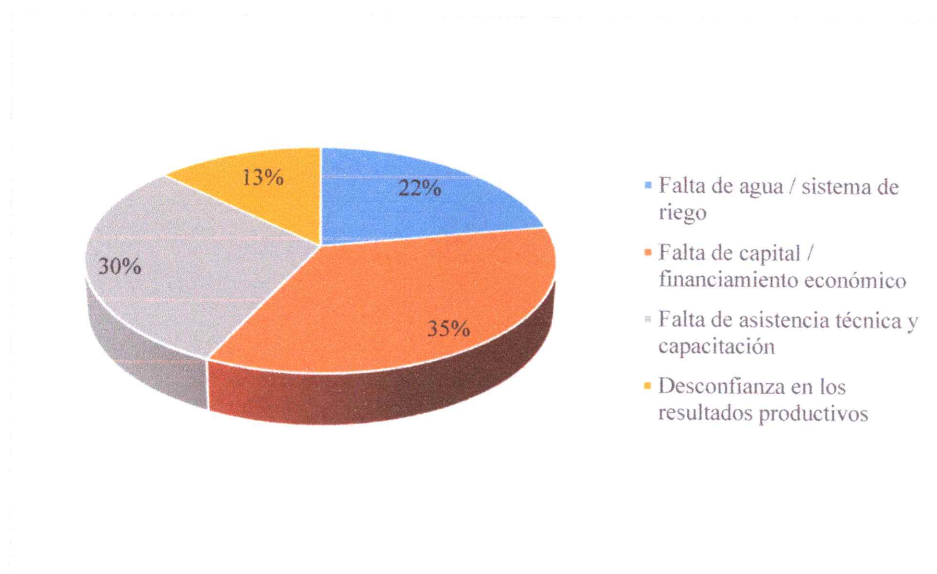
Tabla 8.

¿Cuál considera que es la mayor limitante para adoptar nuevas tecnologías alimenticias en Chone?

Indicador	Frecuencia	Porcentaje (%)
Falta de agua / sistema de riego	78	22 %
Falta de capital / financiamiento económico	124	35 %
Falta de asistencia técnica y capacitación	106	30 %
Desconfianza en los resultados productivos	46	13 %
Total	354	100 %

Elaborado por: Autor del proyecto.

Gráfico 5. ¿Cuál considera que es la mayor limitante para adoptar nuevas tecnologías alimenticias en Chone?



Elaborado por: Autor del proyecto.

3.2. Resultados de la ficha Técnica de registro lácteo (Fase Experimental)

El registro diario de producción muestra un incremento sostenido en el volumen de leche durante el tratamiento con FVH. El promedio individual pasó de 8,5 litros por vaca en T0 a 10,5 litros en T1, lo que representa un aumento del 23,5 % en la producción total del hato. Este comportamiento sugiere un efecto positivo de la suplementación forrajera sobre el rendimiento lácteo, consistente con el aporte nutricional adicional del forraje verde hidropónico.

Tabla 9.

Producción diaria de leche por tratamiento — Promedios del período experimental.

Indicador	T0 (tradicional)	T1 (con FVH)
Producción promedio por vaca (L/día)	8,5	10,5
Producción total del hato (L/día)	85	105
Producción acumulada en 14 días (L)	1,190	1,470
Variación respecto a T0	-	+ 23,5 %

Elaborado por: Autor del proyecto.

En cuanto a la calidad composicional, el muestreo realizado al final de cada fase evidencia una mejora tanto en sólidos totales como en contenido graso durante T1. El porcentaje de grasa se incrementó en 0,4 puntos porcentuales y los sólidos totales en 0,8 puntos, diferencias que, aunque moderadas, respaldan la hipótesis de que el FVH aporta valor nutricional adicional más allá del simple aumento de volumen.

Tabla 10.

Calidad de la leche — Sólidos totales y grasa por tratamiento.

Indicador	T0 (tradicional)	T1 (con FVH)
% sólidos totales promedio	11,8 %	12,6 %
% grasa promedio	3,2 %	3,6 %

Elaborado por: Autor del proyecto.

3.3. Resultados de la matriz de control hídrico (sostenibilidad ambiental)

El balance hídrico del módulo, calculado sobre un ciclo completo de 14 días, arrojó un consumo total de 425 litros de agua para producir 210 kg de biomasa verde. Esto equivale a una huella hídrica de 2,02 litros por kilogramo de FVH, cifra considerablemente menor a la requerida por el cultivo de forraje tradicional en suelo, lo que confirma la eficiencia del sistema hidropónico como alternativa sostenible frente a la escasez de agua en época seca.

Tabla 11.

Consumo de agua del módulo FVH — Lote de producción N° 1.

Indicador	Valor
Peso de semilla utilizada	25 kg
Volumen de agua en remojo y desinfección	45 L
Consumo promedio diario en riego (nebulización)	27,1 L
Consumo total en riego (14 días)	380 L

Consumo total del ciclo (remojo + riego)	425 L
Biomasa total cosechada	210 kg
Huella hídrica (K de agua / kg de FVH)	2,02

Elaborado por: Autor del proyecto.

3.4. Resultados de la matriz de costos e ingresos (Sostenibilidad Económica)

Desde la perspectiva económica, el sistema con FVH implica costos operativos más altos, principalmente por la incorporación de semilla, energía y agua para el módulo. Sin embargo, ese incremento se compensa con creces mediante el mayor volumen de leche producido y la bonificación asociada a su mejor calidad, lo que eleva la utilidad neta diaria de \$11,00 a \$16,25. La relación beneficio-costos también resulta superior en T1 (1,52 frente a 1,48), indicando que, pese a la mayor inversión, el sistema con forraje verde hidropónico genera un retorno económico más eficiente por cada dólar invertido.

Tabla 12.

Costos e ingresos diarios comparados entre sistemas.

Rubro	T0 (tradicional)	T1 (con FVH)
Costo de mano de obra diaria	\$ 15,00	\$ 17,00
Costo de pastoreo / mantenimiento de potrero	\$ 8,00	\$ 5,00
Costo de insumos / semilla de maíz para FVH	\$ 0,00	\$ 6,00
Costo de energía y agua en módulo	\$ 0,00	\$ 3,00
TOTAL COSTOS DIARIOS (A)	\$ 23,00	\$31,00
Litros totales producidos por día	85 L	105 L
Precio de venta por litro (con bonificación)	\$ 0,40	\$ 0,45
TOTAL INGRESOS DIARIOS (B)	\$ 34,00	\$ 47,25
Utilidad neta diaria (B – A)	\$ 11,00	\$ 16,25
Relación beneficio – costo (B / A)	1,48	1,52

3.5. Discusión

Los resultados obtenidos en la fase experimental coinciden parcialmente con lo reportado por Mora (2022), quien evaluó la suplementación con forraje verde hidropónico de maíz en vacas de pastoreo en Costa Rica bajo un diseño de cuadrado latino. Ese estudio no encontró diferencias estadísticamente significativas en la producción de leche entre tratamientos, aunque sí observó una tendencia creciente del 7 % en los animales con mayor nivel de suplementación.

En cuanto a la calidad composicional de la leche, Mora (2022) tampoco halló efectos significativos de la suplementación sobre grasa, proteína, lactosa y sólidos totales. Esto contrasta con el incremento observado en el presente estudio para ambos parámetros, discrepancia atribuible a las diferencias en el nivel de inclusión del forraje hidropónico y a la variedad de semilla germinada empleada, factores que determinan la respuesta productiva ante este tipo de suplementación.

Por su parte, Orjuela (2025), en su evaluación del uso de forraje verde hidropónico de trigo en Boyacá, Colombia, planteó esta tecnología como respuesta directa a la limitada disponibilidad de forraje convencional durante los periodos críticos del año. Ese planteamiento es consistente con el diagnóstico previo de la presente investigación, en el que el 85 % de los ganaderos encuestados reconoció sufrir escasez de alimento en época seca, lo que refuerza la pertinencia de introducir sistemas hidropónicos frente a la estacionalidad forrajera.

Respecto a la eficiencia en el uso del agua, Rodríguez (2025) documentó que la producción convencional de forraje en suelo requiere un metro cúbico de agua para obtener entre uno y ocho kilogramos de materia seca, mientras que ese mismo volumen permite generar hasta ochenta kilogramos de forraje hidropónico. La huella hídrica de 2,02 litros por kilogramo calculada en el

presente trabajo se enmarca en ese rango de alta eficiencia y confirma al sistema hidropónico como alternativa racional frente al establecimiento de praderas adicionales en zonas con estrés hídrico estacional.

En la misma línea, Pereira y Zúñiga (2026), en su evaluación del forraje hidropónico de maíz y sorgo en Honduras, atribuyeron el desabasto de forraje convencional en zonas tropicales a la baja concentración proteica de los pastos y a su reducido rendimiento por superficie. Esta limitación estructural, señalada también por los productores de Chone, respalda la idea de que la intensificación vertical de la hidroponía optimiza mejor el suelo disponible en fincas de pequeña escala.

Desde la perspectiva económica, los hallazgos guardan relación con lo señalado por el Banco Interamericano de Desarrollo (2023), que identifica el acceso limitado al financiamiento como una de las principales restricciones para la adopción tecnológica entre pequeños productores latinoamericanos. La relación beneficio-costos superior del sistema con FVH (1,52 frente a 1,48) sugiere que la rentabilidad marginal compensa esa barrera financiera, siempre que el productor cuente con el capital de arranque necesario.

Finalmente, la disposición de los ganaderos hacia esta tecnología encuentra respaldo en Ramírez (2024), quien sostiene que persisten barreras estructurales como el acceso restringido al crédito y la baja cobertura de capacitación técnica, incluso cuando el productor reconoce los beneficios potenciales de la innovación. Esto explica por qué el 48 % de los encuestados condicionó su disposición a implementar un módulo hidropónico a recibir capacitación previa.

CAPÍTULO IV

4. Propuesta

4.1. Título

Módulo de Forraje Verde Hidropónico (FVH) como alternativa de suplementación alimenticia para ganado lechero en época seca, cantón Chone.

4.2. Antecedentes

La ganadería lechera del cantón Chone se desarrolla mayoritariamente bajo un sistema de pastoreo dependiente de las condiciones climáticas de la zona. Los resultados del diagnóstico previo evidenciaron que el 85 % de los productores encuestados enfrenta escasez de alimento durante la época seca, y que el pastoreo exclusivo o combinado con balanceado comercial sigue siendo la práctica predominante, con un uso todavía limitado de fuentes alternativas de nutrición animal. A esto se suma que casi la mitad de los ganaderos manifestó conocer superficialmente el Forraje Verde Hidropónico, sin dominar su proceso productivo, lo que revela una brecha técnica que ha impedido su incorporación como herramienta de manejo alimenticio en la zona.

4.3. Justificación

La fase experimental desarrollada demostró que la suplementación con FVH incrementa la producción diaria de leche por vaca en un 23,5 % y mejora los parámetros de calidad composicional, con una huella hídrica considerablemente menor a la del forraje cultivado en suelo. Estos resultados, junto con una relación beneficio-costos superior a la del sistema tradicional, respaldan técnica y económicamente la pertinencia de implementar esta tecnología como respuesta directa a la vulnerabilidad alimentaria estacional del hato ganadero. La propuesta se justifica,

además, porque el 90 % de los productores encuestados manifestó algún grado de disposición a adoptar la tecnología, condicionada principalmente a recibir capacitación previa, lo que evidencia una oportunidad concreta de intervención.

4.4. Objetivo

Implementar un módulo piloto de Forraje Verde Hidropónico como suplemento alimenticio para ganado lechero en época seca en el cantón Chone.

4.5. Fundamentación

4.5.1. Fase 1. Instalación del módulo hidropónico

Se acondicionará un área cubierta dentro de la finca piloto, protegida de lluvia directa y con ventilación adecuada, donde se instalarán estanterías verticales con bandejas o charolas para la germinación de la semilla de maíz. El módulo contará con un sistema de riego por nebulización o goteo, conectado a un medidor de consumo que permita registrar el volumen de agua utilizado en cada ciclo, replicando el esquema de control aplicado durante la fase experimental.

4.5.2. Fase 2. Preparación y siembra de la semilla

La semilla de maíz seleccionada pasará por un proceso de limpieza y desinfección previo a su remojo, con una duración aproximada de 12 a 24 horas. Posteriormente se distribuirá de manera uniforme sobre las bandejas y se ubicará en los estantes del módulo, dando inicio al ciclo productivo de aproximadamente 14 días.

4.5.3. Fase 3. Manejo y monitoreo del cultivo

Durante el periodo de crecimiento se llevará un control diario de la frecuencia de riego, la temperatura y la humedad del ambiente, ajustando estos parámetros según el comportamiento observado en la fase experimental. Se mantendrá un registro escrito del consumo de agua y de

cualquier incidencia (contaminación, hongos, retraso en la germinación) que permita corregir el manejo en ciclos posteriores.

4.5.4. Fase 4. Cosecha e incorporación a la dieta

Al finalizar el ciclo, la biomasa de forraje verde se cosechará y pesará para calcular el rendimiento del lote. La incorporación a la dieta del hato se realizará de forma gradual, iniciando con los niveles de suplementación validados en el ensayo (0,25 % a 0,50 % del peso vivo en materia seca), evitando cambios bruscos que generen rechazo por parte de los animales.

4.5.5. Fase 5. Registro productivo y económico

Se mantendrá una ficha diaria de producción de leche por vaca, junto con el registro de los costos de operación del módulo (semilla, agua, energía y mano de obra) y de los ingresos generados, de manera que el productor pueda calcular periódicamente la relación beneficio-costos de su sistema y tomar decisiones sobre la continuidad o escalamiento del módulo.

4.5.6. Fase 6. Capacitación y acompañamiento técnico

De forma paralela a las fases anteriores, se ejecutará un plan de capacitación dirigido al productor y a su personal de manejo, que cubra la instalación, el mantenimiento del módulo, el registro de datos y la interpretación de los indicadores productivos y financieros. Este componente busca que, al concluir la fase piloto, el productor pueda operar el sistema de manera autónoma, sin depender de asistencia técnica externa permanente.

4.6. Beneficios

La implementación del módulo de FVH permitirá a los productores contar con una fuente de alimento disponible durante todo el año, independiente de la estacionalidad climática, reduciendo así la vulnerabilidad del hato frente a la sequía. En el plano productivo, se espera un

incremento sostenido en el volumen y la calidad de la leche, con el consecuente beneficio económico derivado de una mejor valoración comercial del producto. En el plano ambiental, la tecnología favorece un uso más racional y eficiente del recurso hídrico y del suelo disponible en la finca. Finalmente, en el plano social, el proyecto fortalece las capacidades técnicas del productor mediante la capacitación asociada a su implementación, contribuyendo a cerrar la brecha de conocimiento identificada como una de las principales limitantes para la modernización del sector ganadero local.

CAPÍTULO V

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

En cuanto a la cuantificación de la variación en el volumen de producción diaria de leche, los resultados evidencian un efecto positivo y consistente de la incorporación del forraje verde hidropónico de maíz sobre el rendimiento lácteo del hato. El promedio individual por vaca se incrementó de 8,5 litros diarios bajo el sistema tradicional (T0) a 10,5 litros bajo el sistema suplementado (T1), lo que representa un aumento del 23,5 % en la producción total diaria. Este resultado permite concluir que la suplementación con FVH constituye una estrategia nutricional efectiva para compensar el déficit forrajero característico de la época seca, con un impacto directo y medible sobre la productividad individual de los animales.

Respecto al impacto económico sobre la estructura de costos de alimentación, se concluye que la implementación del módulo hidropónico modifica la composición del gasto operativo diario sin comprometer la rentabilidad del sistema. El costo total diario se elevó de \$23,00 en T0 a \$31,00 en T1, principalmente por la incorporación de semilla, energía y agua requeridas para el funcionamiento del módulo, mientras que el gasto en pastoreo y mantenimiento de potrero se redujo. Este comportamiento indica que la tecnología hidropónica no elimina los costos de alimentación, sino que los reestructura, sustituyendo parcialmente la dependencia del pastizal por un componente productivo controlado y con mayor previsibilidad presupuestaria para el ganadero.

En lo referente a la relación beneficio-costos, el análisis financiero confirma la viabilidad del sistema con FVH frente al sistema tradicional. La relación B/C obtenida fue de 1,52 para T1 frente a 1,48 para T0, lo que significa que, por cada dólar invertido en el sistema hidropónico, el

productor obtiene un retorno superior al del sistema convencional. Se concluye entonces que, pese al mayor desembolso operativo que exige la tecnología, el incremento en el volumen y la calidad de la leche producida genera un margen de rentabilidad que valida financieramente la adopción del forraje verde hidropónico como alternativa productiva sostenible.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda a los productores ganaderos del cantón Chone incorporar de manera gradual el forraje verde hidropónico de maíz como suplemento estratégico durante la época seca, iniciando con módulos de baja escala que permitan evaluar su adaptación a las condiciones particulares de cada finca antes de una implementación a mayor volumen. Esta introducción progresiva reduciría el riesgo percibido por el productor y facilitaría la apropiación técnica del sistema sin comprometer la operación diaria del hato.

Se recomienda a las instituciones públicas y organizaciones de apoyo al sector ganadero diseñar programas de capacitación técnica específicos sobre la instalación, el manejo y el mantenimiento de módulos hidropónicos, dado que el desconocimiento del proceso productivo constituye una de las principales barreras identificadas para su adopción. Un acompañamiento técnico sostenido incrementaría la confianza del productor en los resultados y aceleraría la transición hacia sistemas de alimentación complementaria más eficientes.

Se recomienda explorar mecanismos de financiamiento accesible, como créditos blandos o subsidios orientados a tecnologías de sostenibilidad ganadera, que faciliten la inversión inicial requerida para instalar el módulo de FVH. Dado que el costo de arranque representa una limitante relevante para los pequeños y medianos productores, la disponibilidad de líneas de financiamiento específicas permitiría ampliar la escala de adopción de esta tecnología y consolidar su impacto positivo tanto en la productividad como en la rentabilidad del sector lácteo local.

Referencias

- Banco Interamericano de Desarrollo. (2023). *Agricultura y seguridad alimentaria*.
<https://www.iadb.org/es/quienes-somos/temas/agricultura-y-seguridad-alimentaria>
- Castro, J. (2021). *Fisiología de la germinación y activación enzimática en semillas de maíz destinadas a forraje hidropónico*. Revista Ecuatoriana de Ciencias Agropecuarias, 9(2), 45-58.
- Delis-Hechavarría, E. A., Jiménez-Jiménez, R. A., Estrada, M. M., y Gil-González, G. I. (2025). Forraje verde hidropónico y follaje de morera. Alternativas agroecológicas en la alimentación del ganado lechero en sistemas de producción familiar. *Revista de Producción Animal*, 16(1), Artículo e-1162. <https://www.researchgate.net/publication/390497283>
- Durany, M., y Urias, C. (2022). *Estrategias de eficiencia hídrica en sistemas ganaderos tropicales: el caso del forraje hidropónico*. Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria (FONTAGRO).
- FAO. (2022). *Forraje verde hidropónico: manual técnico para sistemas de producción tropical*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FONTAGRO. (2025). *Sostenibilidad productiva en sistemas lecheros tropicales: desafíos frente a la variabilidad climática*. Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria.
<https://www.fontagro.org>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill.

- INEC. (2023). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC): sector pecuario, producción de leche*. Instituto Nacional de Estadística y Censos. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec>
- Juárez, P., Camacho, L., y Solís, R. (2023). Ventajas y limitaciones del forraje verde hidropónico como alternativa nutricional en sistemas ganaderos. *Revista Latinoamericana de Producción Animal*, 31(1), 12-27.
- López, M., Torres, D., y Peña, S. (2019). Rendimiento y eficiencia hídrica del cultivo hidropónico de maíz frente a métodos tradicionales de producción forrajera. *Agronomía Mesoamericana*, 30(3), 601-614.
- MAG. (2023). *Boletín agroclimático: déficit forrajero en la zona seca de Manabí*. Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador.
- MAG. (2024). *Plan de fortalecimiento ganadero para el cantón Chone: alternativas tecnológicas frente a la escasez hídrica*. Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador.
- Mejía, R., y Reyes, T. (2020). Factores ambientales y técnicos que determinan el rendimiento del forraje verde hidropónico. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 54(2), 133-142.
- Mejía, R., y Reyes, T. (2021). *El forraje verde hidropónico como alternativa de alimentación animal de bajo costo*. Editorial Agropecuaria Latinoamericana.
- Mora-Agüero, C. E. (2009). *Evaluación del uso de forraje verde hidropónico de maíz (FVHM) sobre la producción de leche de vacas en pastoreo* [Proyecto de graduación, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. Repositorio TEC. <https://hdl.handle.net/2238/3945>
- Morales, J., Aguilar, C., y Ríos, F. (2012). Producción de biomasa hidropónica de maíz (*Zea mays*) para alimentación animal. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 3(4), 489-501.

- Orjuela Villalobos, W. G. (2015). *Evaluación del uso de forraje verde hidropónico de trigo como alternativa nutricional en la producción de leche del ganado bovino en Turmequé* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio UNAD.
- Pereira Rojas, P. C., y Zúñiga Galo, T. A. (2016). *Evaluación de la calidad nutricional de tres densidades de forraje hidropónico de maíz y sorgo sobre bagazo de caña de azúcar como sustrato* [Tesis de pregrado, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano]. Repositorio Zamorano. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/5866/1/CPA-2016-T074.pdf>
- Ramírez Vera, J. (2024). *Tecnificación agrícola: impacto en el rendimiento productivo y las barreras estructurales en pequeños productores rurales*. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/10255746.pdf>
- Rodríguez, A., Herrera, P., y Salazar, M. (2023). Estabilidad productiva y retorno de inversión del forraje hidropónico frente al balanceado comercial en sistemas de estrés hídrico. *Revista de Investigación Agropecuaria*, 51(1), 78-92.
- Rodríguez Delfín, A. (2005). *Producción de forraje verde hidropónico (FVH)* (Boletín Informativo No. 29). Red Hidroponía, Centro de Investigaciones de Hidroponía y Nutrición Mineral, Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Romero, L., Castillo, N., y Vargas, E. (2019). Aceptación y consumo de forraje hidropónico en dietas mixtas de ganado lechero. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 20(2), 210-223.
- Suárez, H. (2015). Calidad nutricional y bromatológica del forraje verde hidropónico de maíz. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 28(3), 199-208.

Zambrano, K., y Vera, J. (2022). Digestibilidad de pastos tropicales y eficiencia de conversión alimenticia en sistemas de doble propósito en Manabí. *Revista Manabita de Ciencias Agropecuarias*, 6(1), 33-47.

ANEXOS

Anexo 1. Cuestionario de Encuesta (Fase Social)

Objetivo: Evaluar la percepción de los ganaderos sobre la suplementación alternativa y viabilidad del FVH.

ENCUESTA SOBRE ALTERNATIVAS DE SUPLEMENTACIÓN ALIMENTICIA EN EL CANTÓN CHONE

Fecha: _____ **Sector/Parroquia:** _____

1. ¿Qué tipo de alimentación utiliza principalmente en su hato ganadero?

- ☐ Pastoreo exclusivo (solo pasto)
- ☐ Pastoreo + Balanceado comercial
- ☐ Pastoreo + Subproductos agrícolas (afrecho, rechazo de banano, etc.)
- ☐ Otro: _____

2. Durante la época seca, ¿sufre escasez de alimento para sus animales?

- ☐ Sí, críticamente
- ☐ Sí, moderadamente
- ☐ No, tengo suficiente reserva

3. ¿Tiene conocimiento previo sobre qué es y cómo se produce el Forraje Verde Hidropónico (FVH)?

- ☐ No conozco el tema
- ☐ He escuchado, pero no sé cómo se produce

- ☐ Conozco el proceso plenamente

4. ¿Estaría dispuesto a implementar un módulo hidropónico en su finca para suplementar a sus vacas en época seca?

- ☐ Sí, totalmente dispuesto
- ☐ Tal vez, requeriría más capacitación previa
- ☐ No, lo considero muy costoso o complejo

5. ¿Cuál considera que es la mayor limitante para adoptar nuevas tecnologías alimenticias en Chone?

- ☐ Falta de agua / sistemas de riego
- ☐ Falta de capital / financiamiento económico
- ☐ Falta de asistencia técnica y capacitación
- ☐ Desconfianza en los resultados productivos

Anexo 2. Ficha Técnica de Registro Lácteo (Fase Experimental)

Objetivo: Registrar diariamente las variables productivas individuales de las 10 vacas en T0 y T1.

Uso: Campo (sala de ordeño). Una ficha por cada tratamiento (Ficha T0 y Ficha T1).

HOJA DE REGISTRO DIARIO DE PRODUCCIÓN LÁCTEA

Fase/Tratamiento: ☐ T0 (Tradicional) ☐ T1 (Con FVH)

Fecha de Inicio: _____ **Fecha de Fin:** _____

Día	Vaca 1 (L)	Vaca 2 (L)	Vaca 3 (L)	Vaca 4 (L)	Vaca 5 (L)	Vaca 6 (L)	Vaca 7 (L)	Vaca 8 (L)	Vaca 9 (L)	Vaca 10 (L)	Total Día (L)	Observaciones
1												
2												
3												

Muestreo de Calidad de Leche (Sólidos Totales) — *Se realiza al final de cada tratamiento:*

- **% Sólidos Totales Promedio T0:** _____ %
- **% Grasa Promedio T0:** _____ %
- **% Sólidos Totales Promedio T1:** _____ %
- **% Grasa Promedio T1:** _____ %

Anexo 3. Matriz de Control Hídrico (Sostenibilidad Ambiental)

Objetivo: Cuantificar el consumo exacto de agua del módulo hidropónico para calcular la Huella Hídrica (L/kg).

Uso: Área de producción de FVH (Ciclo de 14 días).

REGISTRO DE CONSUMO DE AGUA - MÓDULO FVH

Lote de producción N°: _____ **Peso de semilla utilizada (kg):** _____

1. **Fase de Remojo y Desinfección:** Volumen de agua inicial utilizado: _____ Litros.
2. **Fase de Riego (Nebulización diaria):**

Día de crecimiento	Lectura inicial medidor (L)	Lectura final medidor (L)	Consumo diario (L)	Observaciones
Día 1				
Día 2				
Día 3				

Rendimiento Final del Lote:

- **Peso total de biomasa de FVH cosechada:** _____ kg.
- **Cálculo de Huella Hídrica:** $\frac{\text{total de litros consumidos}}{\text{total kg cosechados}} = \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} L \text{ kg de FVH}$

Anexo 4. Matriz de Costos e Ingresos (Sostenibilidad Económica)

Objetivo: Comparar la rentabilidad y la relación Beneficio-Costo (\$B/C\$) entre ambos sistemas.*

Uso: Oficina / Gabinete económico.

Rubros de costos e ingresos	Sistema tradicional (T0)	Sistema con FVH (T1)
A. Costos operativos diarios		
Costo de mano de obra diaria (\$)		
Costo de pastoreo / mantenimiento potrero (\$)		
Costo de insumos / semilla de maíz para FVH (\$)		
Costo de energía y agua en módulo (\$)		
TOTAL COSTOS DIARIOS (A)		
B. Ingresos diarios		
Litros totales producidos por día (10 vacas)		
Precio de venta por litro (Incluyendo bonificación)		
TOTAL INGRESOS DIARIOS		
C. Indicadores financieros		
Utilidad Neta Diaria (B - A)		
Relación Beneficio-Costo (B / A)		

Anexo 5



