

**UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA Y TECNOLOGIAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA**

**TESIS DE INVESTIGACIÓN**  
**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**  
**INGENIERO AGROPECUARIO**

**TEMA**  
“OPTIMIZACIÓN DEL USO DE FERTILIZANTES EN PASTIZAL  
MEDIANTE DRONES EN LA FINCA EXPERIMENTAL LODANA  
2025”

**AUTORES**  
AGUAYO FLORES ADRIAN ENRIQUE  
MOREIRA CEDEÑO ERICK DANIEL

**TUTOR**  
ING. GEORGE ADALBERTO GARCÍA MERA. Msc

**MANABÍ-ECUADOR**

**2025**

## **CERTIFICACIÓN DEL TUTOR**

En calidad de docente tutor Ing. George Adalberto García Mera de la Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnología, carrera Ingeniería Agropecuaria de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido y revisado el trabajo de titulación bajo la autoría de los estudiantes AGUAYO FLORES ADRIAN ENRIQUE y MOREIRA CEDEÑO ERICK DANIEL, legalmente matriculado/a en la carrera de Ingeniería Agropecuaria, período académico 2024-2025, cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto "Optimización del uso de fertilizantes en pastizal mediante drones en la finca experimental Lodana, 2025"

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 19 de enero del 2026

Lo certifico,



---

Ing. George Adalberto García Mera. Msc

## DECLARACION DE AUTORIA DEL ESTUDIANTE

Yo **AGUAYO FLORES ADRIAN ENRIQUE y MOREIRA CEDEÑO ERICK DANIEL**, de la facultad de ciencias de la vida y tecnológicas, especialidad Agropecuaria, junto con el Ing. GEORGE ADALBERTO GARCÍA MERA, Mg como tutor, declaro de forma libre y voluntaria que el trabajo sobre, **Optimización del uso de fertilizantes en pastizal mediante drones en la finca experimental Lodana**. y las expresiones vertidas son autoría del abajo firmante y que se han realizado las correspondientes investigaciones en base a la bibliografía, datos en internet y revistas científicas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad de la originalidad de esta que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se han respetado las disposiciones que protegen los derechos del autor vigente.



---

Aguayo Flores Adrián Enrique



---

Moreira Cedeño Erick Daniel

## **AGRADECIMIENTO**

Queremos agradecer primero a nuestro Dios por darnos la fuerza, capacidad y valentía para seguir este camino que no han sido fácil, pero gracias a el hemos avanzados de la mejor forma posible, y llegar a este gran momento que hemos tenido como visión desde el primero momento.

Agradecer a nuestros familiares que sin su apoyo, amor, enseñanzas y compromiso de formación no estuviéramos hoy aquí, gracias infinitas gracias familia.

Agradecemos a nuestros compañeros que en el camino se hicieron amigos-hermanos, por las sin números de experiencias que hemos compartidos, las risas, tristezas y sustos en este camino, pero siempre dándole para adelante, gracias a ustedes amigos.

Docentes, sus enseñanzas en esta linda carrera que nos han hecho enamorarnos del campo, sus experiencias y conocimientos valoramos y los llevaremos siempre presente en nuestro campo agropecuario.

Por último, a nuestro tutor Ing. George García por estar al pendiente desde el comienzo hasta el final en nuestra experimentación, su gran conocimiento y apoyo incondicional lo llevaremos siempre en nuestros corazones, así mismo el Ing. Horley Cañarte que nos ayudaba en todo lo que necesitamos y se prestaba de su tiempo valioso para apoyarnos, para finalizar, a todo el equipo que conforma la carrera agropecuaria agradecemos de la manera mas respetable y los llevaremos en nuestros andar profesional.

*Adrián Enrique Aguayo Flores y Erick Daniel Moreira Cedeño*

## DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo final aquellas personas que han caminado conmigo todos estos años en mi etapa universitaria, en primer lugar, agradezco a Dios por nunca soltarme, por llenarme de salud, fortaleza y fuerza en este transitar.

A mis padres, Tirso Enrique Aguayo Bazurto y Josefa Verónica Flores Santana por todo lo enseñado, por nunca rendirse y sacrificarse en mi y su amor inquebrantable, por toda la dedicación en la crianza que me dieron, en el apoyo diario para continuar y terminar esta carrera, a mis hermanas por ese apoyo continuo y nunca permitir que me rinda, porque el camino ha sido difícil, pero con ellas todo es posibles.

A mis abuelos, gracias a su sabiduría y apoyo al estar siempre al pendiente de una u otra forma, este agradecimiento en especial para mi Abuelito Floresmilo, que gracias a sus enseñanzas del campo hizo que me enamorara de esta carrera, se lo dedico con mucho amor, que se que desde el cielo me cuida y se alegra por este gran logro.

Así mismo quiero dedicar este logro a mis compañeros de carrera, quienes hemos tenidos tantas anécdotas a lo largo de este camino, me han enseñado sobre el esfuerzo y la perseverancia, en seguir por la milla extra, cada palabra ha sido vital para mi crecimiento en este trayecto, a mis profesores por esa entrega en cada clase, por el amor que tienen para enseñarnos y convertirnos en excelentes profesionales para nuestro país.

Dedico a todas las personas que participaron en mi trabajo final, gracias por su generoso tiempo compartido.

*Adrián Enrique Aguayo Flores*

Con infinita gratitud y profunda emoción, dedico este trabajo de titulación a Dios, por ser mi guía constante, darme fortaleza en los momentos difíciles y permitirme culminar esta importante etapa de mi formación académica.

A mi amada madre, Leticia Emperatriz Cedeño Mera, pilar fundamental de mi vida, por su amor incondicional, sus sacrificios silenciosos y su apoyo constante. Gracias por creer en todo momento.

A mi querido padre, Flavio Joel Moreira Macias, por su ejemplo de perseverancia, esfuerzo y disciplina. Sus consejos y apoyo han sido esenciales en mi crecimiento personal.

A mis abuelos, que, aunque ya no se encuentran físicamente conmigo, permanecen vivos en mi memoria y en mi corazón. Sus enseñanzas y amor fueron fundamentales en mi formación personal.

A mis hermanos, tíos, tías y demás familiares por sus consejos, apoyo y confianza incondicional en cada etapa de mi vida.

A mis compañeros, por brindarme su apoyo y trabajo en equipo compartido a lo largo de la carrera. Los aprendizajes, esfuerzos y experiencias vividas juntos contribuyeron de manera significativa en la culminación de esta etapa académica.

*Erick Daniel Moreira Cedeño*

## ÍNDICE GENERAL

|                                                                       |     |
|-----------------------------------------------------------------------|-----|
| CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....                                          | III |
| DECLARACION DE AUTORIA DEL ESTUDIANTE .....                           | IV  |
| AGRADECIMIENTO .....                                                  | V   |
| DEDICATORIA.....                                                      | VI  |
| RESUMEN.....                                                          | XIV |
| ABSTRACT.....                                                         | XV  |
| CAPÍTULO I .....                                                      | 1   |
| INTRODUCCIÓN.....                                                     | 1   |
| 1. 1. MARCO TEÓRICO .....                                             | 2   |
| 1.1.1. Pastizales y su importancia en la producción agropecuaria..... | 2   |
| 1.1.2. Uso eficiente de fertilizantes.....                            | 3   |
| 1.1.3. Fertilización de pastizales.....                               | 3   |
| 1.1. 4. Optimización del uso de fertilizantes.....                    | 4   |
| 1.1.5. Uso de drones en la agricultura .....                          | 5   |
| 1.1.6. Aplicación de drones en la fertilización de pastizales .....   | 7   |
| 1.1.7. Ventajas del uso de drones .....                               | 8   |
| 1.1.8. Investigaciones sobre el uso de drones en agricultura .....    | 9   |
| 1. 2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....                                  | 10  |
| 1. 3 JUSTIFICACIÓN .....                                              | 11  |
| 1.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....                                   | 11  |
| 1.5 HIPÓTESIS .....                                                   | 12  |

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.5.1 Hipótesis alternativa (H1) .....                                                                        | 12 |
| 1.5.1 Hipótesis nula (H0).....                                                                                | 12 |
| 1.6. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....                                                              | 12 |
| 1.6.1. Objetivo general .....                                                                                 | 12 |
| 2.1. Ubicación del lugar de investigación.....                                                                | 13 |
| 2.2. Características Agroclimáticas.....                                                                      | 13 |
| 2.3. Tipo de investigación.....                                                                               | 14 |
| 2.4. Adquisición de datos .....                                                                               | 14 |
| 2.5. Tratamientos .....                                                                                       | 14 |
| 2.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....                                                                               | 15 |
| 2.8. DATOS POR TOMARSE Y MÉTODOS DE EVALUACIÓN .....                                                          | 16 |
| 2.7. MANEJO EXPERIMENTAL.....                                                                                 | 16 |
| 2.7.1. Obtención de pastizal mulato .....                                                                     | 16 |
| 2.7.2. Siembra de pasto .....                                                                                 | 16 |
| 2.7.3. Riego del pasto.....                                                                                   | 17 |
| 2.7.4. Control de plagas y enfermedades .....                                                                 | 17 |
| 2.7.5. Aplicación de fertilizantes con drones .....                                                           | 17 |
| 2.7.6. Toma de muestras .....                                                                                 | 17 |
| CAPÍTULO III .....                                                                                            | 18 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....                                                                                  | 18 |
| 3.1. Análisis bromatológico en función del tipo de fertilización foliar y la<br>frecuencia de aplicación..... | 18 |
| 3.1. Determinación del mejor tratamiento .....                                                                | 27 |
| 3.1. Estimación económica .....                                                                               | 28 |
| CAPÍTULO IV .....                                                                                             | 31 |



|                                             |           |
|---------------------------------------------|-----------|
| <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b> | <b>31</b> |
| <b>4.1 CONCLUSIONES .....</b>               | <b>31</b> |
| <b>4.2 RECOMENDACIONES .....</b>            | <b>32</b> |
| <b>BIBLIOGRAFIA.....</b>                    | <b>33</b> |
| <b>ANEXOS.....</b>                          | <b>37</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Tratamientos en estudio .....                             | 14 |
| Tabla 2. Esquema de análisis de varianza (ADEVA) .....             | 15 |
| Tabla 3. Análisis bromatológico de los tratamientos evaluados..... | 18 |
| Tabla 3. Estimación económica del estudio .....                    | 29 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio .....                                 | 13 |
| Figura 2. Modelo de análisis nutricional bovinos leche pastoreo sin fertilizantes .....    | 22 |
| Figura 3. Modelo de análisis de parte vegetativa sin fertilizantes .....                   | 23 |
| Figura 4. Ubicación de la parcela de la parte vegetativa sin fertilizantes .....           | 23 |
| Figura 5. Análisis mineral y producción de carne sin fertilizantes. ....                   | 24 |
| Figura 6. Modelo de análisis nutricional bovinos leche pastoreo orgánico .....             | 24 |
| Figura 7. Modelo de análisis de parte vegetativa orgánica .....                            | 24 |
| Figura 8. Ubicación de la parcela de la parte vegetativa orgánica .....                    | 25 |
| Figura 9. Análisis mineral y producción de carne parcela orgánica .....                    | 25 |
| Figura 10. Modelo de análisis nutricional bovinos leche pastoreo fertilizante químico..... | 26 |
| Figura 11. Modelo de análisis de parte vegetativa con fertilizante químico .....           | 26 |
| Figura 12. Ubicación de la parcela parte vegetativa con fertilizantes químicos .....       | 27 |
| Figura 13. Análisis mineral y producción de carne parcela con fertilización química.....   | 27 |

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

Anexo 1. Vista a 40 metros con el uso de dron utilizando fertilizante orgánico 37

Anexo 2. Vista a 40 metros con el uso de dron utilizando fertilizante orgánico 37

Anexo 3. Vista a 40 metros con el uso de dron utilizando fertilizante químico . 37

## RESUMEN

El objetivo general de la presente investigación fue evaluar la aplicación de fertilizantes en pastizales mediante el uso de drones en el cantón Santa Ana, Manabí, durante el periodo 2025, en el pasto Mulato II. El estudio se llevó a cabo en la Finca Experimental Lodana, al cual se le aplicó un DBCA bifactorial 3x4 con tres repeticiones, donde se evaluaron tres tratamientos: sin fertilización (T0), fertilización orgánica (T1) y fertilización química (T2), aplicados con drones con una frecuencia de 15 días, datos que se procesaron en el software Taurus Web. Se evaluó materia seca, proteína, fibra, y energía neta de lactancia. Los resultados señalaron que la fertilización química fue la que presentó los valores nutricionales más altos, con mayor contenido de proteína y energía neta de lactancia. El tratamiento orgánico tuvo valores medios, mientras que el testigo registró los más bajos. En conclusión, la aplicación de fertilizantes vía drones si mejora la calidad nutricional del pasto Mulato II, destacando el fertilizante químico como la opción más eficiente para la producción ganadera en Santa Ana.

**Palabras claves:** análisis bromatológico, pasturas, drones, innovación agrícola.

## **ABSTRACT**

The main goal of this study was to assess fertilizer application on Mulato II pastures using drones in Santa Ana canton, Manabí, during 2025. The work was carried out at the Lodana Experimental Farm of ULEAM, with a randomized complete block design, bifactorial 3x4, and three replicates. They tested three treatments: control with no fertilization (T0), organic fertilization (T1), and chemical fertilization (T2), applied via drones at four 15-day intervals. Data were processed in Taurus Web software, checking bromatological variables like dry matter, crude protein, neutral and acid detergent fiber, degradable protein, and net lactation energy. Results showed chemical fertilization gave the highest nutritional values more protein and net lactation energy, plus lower fibrous components that boost forage digestibility. Organic treatment came in the middle, and the control had the lowest. In short, drone-applied fertilizers do improve Mulato II nutritional quality, with chemical being the top choice for boosting cattle production in Santa Ana.

**Keywords:** bromatological analysis, pastures, drones, agricultural innovation.

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

En la actualidad, el uso de drones o vehículos aéreos no tripulados (VANT) se ha consolidado como una herramienta clave en la agricultura de precisión, permitiendo el monitoreo eficiente de cultivos, la detección de plagas y enfermedades, y la aplicación de insumos con alta precisión (Ruiz et al. 2024). Según Ríos (2021), los drones han transformado la forma en que se gestionan los sistemas agrícolas, brindando una alternativa eficaz para reducir el uso innecesario de recursos y aumentar el rendimiento mediante la toma de decisiones basadas en datos obtenidos desde el aire.

El avance tecnológico en drones es parte del proceso agrícola, al ser una herramienta utilizada para fertilización, riego y control fitosanitario (Dos Santos et al. 2024). Pino (2020) señala que estos dispositivos no solo optimizan tiempos y recursos, sino que también reducen la exposición de los trabajadores a productos químicos, mejoran la manera de que se distribuye el producto y permiten una mayor cobertura en menor tiempo.

Cabe mencionar que un buen manejo de fertilizantes es vital para pastos sostenibles (Jayasinghe et al. 2022). Pereira et al. (2022) dicen que fertilizar bien con nitrógeno en pasturas tropicales sube producción, calidad del forraje y corta pérdidas por lixiviación o volatilización.

Se ha evidenciado que el uso de drones fertilizantes en arroz, maíz, caña y soya dan buenos resultados, debido que ahorran tiempo, distribuyen homogéneamente y mejoran el rendimiento (Pino 2020, Ruiz et al. 2024; Dos Santos et al. 2024).

Además, se hace énfasis que en pastos son menos los estudios, pero prometedores, desde el mejor uso de nitrógeno (N), más crecimiento y menos impacto ambiental (Juntasin et al. 2022; Ríos 2021), siendo los pastizales los que sostie-

nen la ganadería tropical, y Mulato II (híbrido *Urochloa ruziziensis* x *U. decumbens* del CIAT) es el más utilizado por su adaptabilidad y altura de 1-1.5 m (Cabra et al. 2020; Martínez et al. 2024).

Por ello, el objetivo de este estudio es evaluar el efecto del uso de drones en la fertilización del pasto Mulato II sobre su composición nutricional en el cantón Santa Ana, Manabí.

## **1. 1. MARCO TEÓRICO**

### **1.1.1. Pastizales y su importancia en la producción agropecuaria**

La importancia de los pastizales radica en la disponibilidad de tierras de pastoreo, que presenta una oportunidad para que los agricultores mejoren la producción ganadera extensiva, particularmente en la producción de ganado vacuno, al utilizar pasturas de pastoreo para la producción ganadera, los agricultores pueden reducir la dependencia del alimento comprado; además, se puede lograr un aumento de la eficiencia de la producción ganadera sin utilizar tierras adicionales mediante una mejor gestión del pastoreo y prácticas de producción de pasturas (Rapiya et al. 2025).

De hecho, los pastizales son un tipo de práctica agroforestal, ofrecen un enfoque prometedor para abordar la necesidad de alimentos, combustible y fibra, a la vez que mitigan los impactos de la agricultura en el cambio climático y el medio ambiente, debido a que integran árboles, cultivos forrajeros y ganado en un solo sistema de producción en la misma tierra, proporcionando beneficios ecológicos, como mejorar la calidad del agua, la calidad del suelo y el secuestro de carbono, modificar las condiciones microclimáticas y aumentar la biodiversidad, junto con mejorar el bienestar y la productividad animal (Silva et al. 2025).

Ecuador tiene más del 39 % de superficie dedicada a la producción agropecuaria, que es cultivada u ocupada por pastos, donde el forraje más producido es *Megathyrsus maximus* (Jacqs.) B.K. Simon & S.W.L. Jacobs, en lo que respecta a Manabí tiene alrededor de 53,5 % del área total cultivada con pasto



donde la principal especie que se encuentra es *M. maximus* (Schnabel et al. 2023).

### **1.1.2. Uso eficiente de fertilizantes**

El uso eficiente de fertilizantes permite que los nutrientes realmente cumplan su función en el crecimiento del pasto, evitando pérdidas innecesarias y mejorando la respuesta de los cultivos, cuando se aplican las cantidades correctas y en el momento adecuado, el pasto crece de manera más uniforme, con mejor color, mayor vigor y mejor valor nutritivo, esto beneficia directamente a la producción ganadera, ya que se dispone de forraje de mejor calidad para la alimentación del ganado (Ruiz et al. 2023).

Por otro lado, una fertilización eficiente tiene efectos positivos sobre el suelo y el ambiente, al reducir el exceso de fertilizantes, se disminuye el riesgo de contaminación de ríos y suelos, protegiendo los recursos naturales; además, este manejo responsable ayuda a conservar la fertilidad del suelo a largo plazo y a reducir los costos de producción, promoviendo sistemas agrícolas más sostenibles, equilibrados y rentables (Silva et al. 2025).

### **1.1.3. Fertilización de pastizales**

La fertilización de pastizales es una práctica fundamental para mantener la productividad y calidad del forraje destinado a la alimentación del ganado, a través de la aplicación adecuada de nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, se favorece el crecimiento del pasto, se mejora su valor nutritivo y se prolonga la vida útil del pastizal. Cuando el suelo cuenta con los nutrientes necesarios, el pasto se desarrolla de forma más uniforme, permitiendo una mejor disponibilidad de alimento y un uso más eficiente de las áreas de pastoreo (Nuñez et al. 2026).

La fertilización en los pastizales es clave para asegurar una producción constante y de buena calidad del forraje que consume el ganado, en otras palabras, un pastizal bien nutrido produce pasto más verde, denso y con mayor contenido de proteínas, lo que se traduce en animales mejor alimentados, con

mayor ganancia de peso y mejor rendimiento productivo, además una fertilización adecuada ayuda a que el pasto se recupere más rápido después del pastoreo, evitando el deterioro de las praderas y prolongando su vida útil (Lima et al. 2022).

Asimismo, la fertilización contribuye a mantener la fertilidad del suelo, ya que repone los nutrientes que se pierden con el uso continuo del pastizal, cuando no se fertiliza, el suelo se empobrece progresivamente y la producción de forraje disminuye, afectando la sostenibilidad del sistema ganadero, por esta razón aplicar fertilizantes de manera responsable y técnica no solo mejora la productividad, sino que también permite un manejo más eficiente de los recursos, garantizando pastizales saludables y rentables a largo plazo (Maduro et al. 2024).

Sin embargo, es importante aclarar que cuando la fertilización se destinada sin un manejo técnico adecuado, pueden presentarse problemas tanto económicos como ambientales, el uso excesivo o incorrecto de fertilizantes no solo incrementa los costos de producción, sino que también puede provocar la degradación del suelo y la contaminación de fuentes de agua cercanas, por ello, es importante que la fertilización de pastizales se realice de manera planificada, considerando las necesidades reales del suelo y del cultivo, con el fin de lograr un equilibrio entre productividad, rentabilidad y sostenibilidad ambiental (Phohlo et al. 2022).

#### **1.1. 4. Optimización del uso de fertilizantes**

La optimización del uso de fertilizantes consiste en aplicar los nutrientes de forma inteligente y precisa, teniendo en cuenta las verdaderas necesidades del suelo y del cultivo, en lugar de usar cantidades uniformes en toda el área, este enfoque busca ajustar las dosis según las condiciones específicas de cada zona, lo que permite mejorar el crecimiento de las plantas y aprovechar mejor los insumos, de esta manera, se logra un equilibrio entre una buena producción agrícola y un uso responsable de los recursos disponibles (Castillo et al. 2025).

Además, optimizar la fertilización ayuda a reducir costos y minimizar los impactos negativos sobre el ambiente, cuando se aplican fertilizantes en exceso o sin planificación, gran parte de los nutrientes se pierde por lixiviación o escorrentía, afectando la calidad del suelo y del agua; en cambio, una fertilización optimizada favorece una producción más sostenible, ya que mejora la eficiencia del uso de nutrientes, protege los ecosistemas y contribuye a sistemas productivos más rentables y responsables a largo plazo (Vicente y Calle 2025).

En el contexto de la fertilización de pastizales, la agricultura de precisión representa una gran oportunidad para optimizar los recursos y reducir el impacto ambiental, al dejar atrás los métodos tradicionales de aplicación uniforme, los productores pueden mejorar la productividad del forraje y disminuir el desperdicio de insumos e inclusive este enfoque contribuye a una ganadería más sostenible, ya que promueve un manejo responsable del suelo y favorece el uso eficiente de tecnologías innovadoras, como los drones, para un mejor control y seguimiento de los pastizales (Monteiro et al. 2021).

#### **1.1.5. Uso de drones en la agricultura**

La incorporación de nuevas tecnologías se ha identificado como una opción prometedora para abordar estos desafíos, en donde la llamada Agricultura Inteligente han surgido como resultado de tales problemas, es decir, la primera introduce Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) y otras innovaciones de vanguardia en las actividades agrícolas para aumentar la eficiencia y la eficacia (Ruiz et al. 2023).

Por ende, este tipo de tecnologías correspondientes a la agricultura de precisión surge como un enfoque prometedor para abordar estos desafíos, destacando el papel potencial de las tecnologías de precisión, es decir, los drones desempeñan un papel cada vez más importante en este campo ya que pueden mejorar la productividad agrícola a través del monitoreo preciso de los cultivos, la aplicación dirigida de insumos y la recopilación de datos de alta resolución (Guebsi et al. 2024).

En la actualidad, son considerados una herramienta muy útil gracias a su capacidad para adaptarse a diferentes necesidades del campo, existen drones diseñados principalmente para el monitoreo de cultivos y pastizales, los cuales están equipados con cámaras que permiten observar el estado general de las plantas, detectar zonas con bajo crecimiento o identificar problemas como estrés hídrico y deficiencias nutricionales, estos drones facilitan la obtención de información detallada en poco tiempo, incluso en áreas de difícil acceso.

#### **1.1.5.1 Vehículos aéreos no tripulados**

El uso de vehículos aéreos no tripulados (UAV), comúnmente conocidos como drones, ha atraído cada vez más atención por su potencial para revolucionar aplicaciones desafiantes, como la silvicultura y la agricultura, estos sistemas robóticos aéreos prometen mejorar la eficiencia, reducir los costos laborales y proporcionar datos de alta resolución para una mejor toma de decisiones (Araújo et al. 2025).

En este contexto, son dispositivos tecnológicos que pueden volar sin la necesidad de un piloto a bordo y son controlados de manera remota o automática, en los últimos años, su uso se ha extendido a diversos sectores gracias a su capacidad para capturar información detallada desde el aire, de forma rápida y segura; equipados con cámaras y sensores especializados, los drones permiten observar grandes extensiones de terreno, recopilar datos precisos y apoyar la toma de decisiones, convirtiéndose en una herramienta innovadora para mejorar la eficiencia de múltiples actividades (Del Cerro et al. 2021).

En el ámbito agrícola, los drones han demostrado ser aliados importantes para mejorar la eficiencia y el manejo de los recursos, estos dispositivos permiten identificar problemas que no siempre son visibles a nivel del suelo, como zonas con bajo crecimiento vegetal o estrés en los cultivos, donde al proporcionar información detallada y actualizada, los vehículos aéreos no tripulados contribuyen a una gestión más técnica y sostenible del campo, ayudando a optimizar procesos y a reducir costos de producción (Gamboa et al. 2026).

#### **1.1.5.2 Dron TC50**

El dron TC50 es un vehículo aéreo no tripulado diseñado para realizar tareas de aplicación aérea de manera eficiente y segura, es caracterizado por su estructura robusta, su capacidad de carga y su sistema de vuelo estable, lo que le permite operar en diferentes condiciones del terreno, gracias a su tecnología avanzada, este tipo de dron puede realizar vuelos programados con alta precisión, garantizando una cobertura uniforme y un mejor control durante sus operaciones (Guebsi et al. 2024).

Este dron sirve sobre todo para rociar fertilizantes líquidos, bioestimulantes y fitosanitarios. Vuela bajo y distribuye todo controlado, lo que hace la aplicación más eficiente, es decir, menos pérdidas, sin exceso de insumos. Además que, ahorra tiempo y trabajo comparado con lo tradicional, un golazo para los productores (Gryparis et al. 2022).

#### **1.1.6. Aplicación de drones en la fertilización de pastizales**

Estos dispositivos permiten distribuir fertilizantes de forma más precisa y controlada, evitando aplicaciones uniformes que muchas veces no responden a las necesidades reales del pasto, debido a su capacidad para cubrir grandes extensiones en poco tiempo, los drones optimizan el uso de insumos, reducen costos operativos y mejoran la eficiencia del manejo agrícola (Monteiro et al. 2021).

En el caso de los pastizales, los drones representan una gran ventaja para el monitoreo y manejo del forraje destinado a la alimentación del ganado, a través de imágenes aéreas, es posible identificar áreas con bajo crecimiento, degradación del pasto o deficiencias nutricionales, lo que facilita una intervención oportuna y focalizada su uso permite optimizar la fertilización y el manejo del pastoreo, ayudando a los productores a mantener pastizales más saludables, productivos y sostenibles, con un menor esfuerzo y mayor precisión (Santos et al. 2024).

Además de la aplicación de fertilizantes, los drones cumplen un papel fundamental en el diagnóstico del estado nutricional del pasto, a través de imágenes aéreas y sensores especializados, es posible identificar áreas con bajo vigor vegetal, estrés nutricional o crecimiento desigual, por ende, dicha información permite detectar problemas de manera temprana, facilitando decisiones oportunas que contribuyen a mantener pastizales más saludables y productivos (Díaz et al. 2025).

En este contexto, la combinación del diagnóstico nutricional y la aplicación precisa de fertilizantes mediante drones favorece un manejo más técnico y sostenible de los pastizales, al aplicar los nutrientes únicamente donde se necesitan y en las cantidades adecuadas, se mejora la respuesta del pasto y se reduce el impacto ambiental. De esta forma, el uso de drones se convierte en una herramienta clave para fortalecer la agricultura de precisión y promover sistemas ganaderos más eficientes y responsables (Santos et al. 2024).

#### **1.1.7. Ventajas del uso de drones**

El uso de drones ofrece una mayor precisión en el manejo de actividades agrícolas, ya que permiten observar el terreno desde el aire y detectar problemas que no siempre son visibles a simple vista, gracias a esta tecnología, es posible identificar zonas con bajo crecimiento, estrés del pasto o deficiencias nutricionales, lo que facilita una toma de decisiones más acertada y oportuna e inclusive esta capacidad de análisis contribuye a mejorar la productividad y el estado general de los pastizales.

Otra ventaja importante es la reducción de costos y del uso innecesario de insumos, es decir, al aplicar fertilizantes de manera localizada y controlada, los drones evitan el desperdicio y optimizan el aprovechamiento de los recursos disponibles; además, disminuyen el tiempo y la mano de obra requerida en comparación con los métodos tradicionales, lo que resulta beneficioso para los productores (Araújo et al. 2025).

Asimismo, los drones contribuyen a un manejo más sostenible y amigable con el ambiente ya que al reducir la sobreaplicación de fertilizantes, se minimiza la contaminación del suelo y del agua, favoreciendo la conservación de los ecosistemas, de esta manera, el uso de drones no solo mejora la eficiencia productiva, sino que también promueve prácticas agrícolas responsables y orientadas al desarrollo sostenible (Gryparis et al. 2022).

#### **1.1.8. Investigaciones sobre el uso de drones en agricultura**

Estudios recientes como el de Del Cerro et al (2021) han señalado que los drones se utilizan ampliamente para diversas tareas como el monitoreo de cultivos, la detección temprana de enfermedades, la optimización del riego y la aplicación de insumos agrícolas, estos análisis destacan que los drones permiten un manejo más eficiente de los recursos, mejorando la productividad de los cultivos y reduciendo el impacto ambiental al aplicar fertilizantes y otros productos de manera más precisa.

Investigaciones más amplias sobre tecnología UAV (vehículos aéreos no tripulados) muestran que la integración de sensores especializados, como cámaras multiespectrales o térmicas, junto con técnicas avanzadas como inteligencia artificial, puede proporcionar información detallada sobre la salud de las plantas en tiempo real, de hecho, este tipo de estudios han señalado que estas capacidades mejoran la toma de decisiones agronómicas, al permitir detectar estrés hídrico, deficiencias de nutrientes y otros factores clave antes de que se conviertan en problemas mayores (Díaz et al. 2025).

Santos et al (2024) indican en su estudio que, en el manejo de pastizales, el dron TC50 se convierte en una herramienta estratégica para optimizar la fertilización y mejorar la productividad del forraje, al permitir aplicaciones precisas en áreas específicas, facilita un uso más racional de los fertilizantes y contribuye a la sostenibilidad del sistema ganadero, de esta manera, el dron TC50 apoya la adopción de prácticas de agricultura de precisión, promoviendo un manejo más técnico, rentable y amigable con el ambiente.

## 1. 2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el plano global, se estima que entre el 30 y 50 % de los fertilizantes aplicados no son absorbidos por las plantas y se pierden por volatilización, lixiviación o escurrimiento, lo cual genera graves impactos ambientales, como contaminación de suelos acuíferos y emisiones de gases de efecto invernadero (Llive et al. 2015).

En América Latina, el consumo promedio de fertilizantes ronda los 196 kg por hectárea de tierra arable, mientras que en Ecuador esta cifra alcanza aproximadamente 326 kg/ha según datos del 2021 (Sandrakirana y Arifin 2021). Pereira et al. (2022) advierten que, sin precisión en la aplicación y tecnologías modernas, los fertilizantes se desperdician o hasta perjudican, es decir suben los costos, bajan la calidad del pasto y dañan el ambiente.

En Ecuador, la ganadería tiene problemas de déficits por pastos poco productivos, donde cada vez se hace mayor la situación que no hay forrajes de buena calidad. Entre las principales causas se encuentran el agotamiento progresivo del suelo, la falta de rotación adecuada de cultivos forrajeros y el uso indiscriminado de fertilizantes sin estudios previos de necesidades nutricionales. Esta combinación provoca un crecimiento desigual del pasto, disminución en la producción de biomasa y, en consecuencia, una reducción en la eficiencia alimenticia del ganado (Maldonado et al., 2024).

A esta situación se suma la escasa adopción de tecnologías de precisión en el campo ecuatoriano. En Manabí, el clima seco tropical y suelos pobres complican el crecimiento adecuado de pastizales, afectando el alimento del ganado, debido que generalmente se fertiliza de manera tradicional, sin técnica ni precisión, sin ajustar dosis al suelo o al pasto, provocando rendimientos irregulares, sumado a la falta de estudios locales.

En Santa Ana, todo se complica más con el clima que es muy variable, poco manejo técnico, donde la dependencia de métodos manuales o mecánicos que no son precisos provoca un uso ineficiente de los fertilizantes, siendo una



realidad que impacta negativamente en la productividad ganadera local y hacer ver la necesidad de información técnica y herramientas que permitan optimizar el manejo de fertilizantes en los pastizales de la zona.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

El presente estudio se justifica por la necesidad de encontrar alternativas innovadoras que permitan optimizar el uso de fertilizantes en los pastizales. De tal modo que el empleo de drones para la aplicación de insumos agrícolas ha demostrado en múltiples investigaciones una capacidad para reducir el consumo de fertilizantes, manteniendo o incluso aumentando los rendimientos y calidad nutricional (Tadesse et al. 2021, Pino 2020).

El uso de drones para fertilizar podría ayudar sobre todo a pequeños y medianos, debido que baja el costo de insumos, incrementa la calidad y volumen del forraje, lo que hace más rentable la producción (Ruiz et al. 2024). De esta manera, el estudio aporta con información valiosa para la adopción de tecnologías agrícolas de precisión en la región Manabita.

Por ultimo se menciona que los resultados obtenidos servirán como ejemplo o modelo replicable para otras zonas con condiciones similares, incentivando la modernización del sector agropecuario y posicionando al cantón Santa Ana como referente en innovación y sostenibilidad. Por ello el presente trabajo tiene como objetivo evaluar la aplicación de fertilizantes en pastizales mediante el uso de drones en el cantón Santa Ana, Manabí en el periodo 2025.

### **1.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

- ¿Cuál es el efecto de la aplicación de fertilizantes mediante drones en el desarrollo nutricional del pasto Mulato II en el cantón Santa Ana, Manabí?
- ¿Cuál de los tratamientos aplicados mediante drones favorece más la calidad nutricional del pasto Mulato II?

## **1.5 HIPÓTESIS**

### **1.5.1 Hipótesis alternativa (H1)**

HA: La aplicación de fertilizantes mediante drones mejora significativamente el desarrollo del pasto Mulato II en el cantón Santa Ana, Manabí.

### **1.5.1 Hipótesis nula (H0)**

HO: La aplicación de fertilizantes mediante drones no produce diferencias significativas en el desarrollo del pasto Mulato II en el cantón Santa Ana, Manabí.

## **1.6. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

### **1.6.1. Objetivo general**

- Evaluar la aplicación de fertilizantes en pastizal mediante el uso de drones en la finca experimental Lodana en el periodo 2025.

### **1.6.2. Objetivos específicos**

- Analizar la composición nutricional del pasto Mulato II bajo los diferentes tratamientos aplicados.
- Determinar el tratamiento más eficiente con el uso de fertilizantes aplicado mediante drones en el desarrollo del pasto Mulato II.
- Realizar una estimación económica de los gastos generados durante el desarrollo del estudio.

## CAPÍTULO II.

### METODOLOGÍA

#### 2.1. Ubicación del lugar de investigación

Este trabajo de investigación se realizó en la parroquia Lodana, cantón Santa Ana, provincia de Manabí en la Finca experimental Lodana de la Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnología de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), con las siguientes coordenadas: Latitud sur: 1° 18' 33" Longitud oeste: 80° 38' 52". y Altitud 47 m.s.m.m. (Dices.net 2022).



**Figura 1.** Ubicación geográfica de la zona de estudio

**Fuente:** Google Earth (2024)

#### 2.2. Características Agroclimáticas

| Características         | Descripción                                                                                                                |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Clima</b>            | Ecuatorial mesotérmico semi-húmedo.                                                                                        |
| <b>Precipitación</b>    | Oscila entre 700 y 900 mm anuales, con lluvias principales en febrero a mayo y octubre a noviembre.                        |
| <b>Temperatura</b>      | Promedio anual entre 12°C y 20°C; máxima de 30°C y mínima de 6°C.                                                          |
| <b>Humedad Relativa</b> | Varía entre 65% y 85%.                                                                                                     |
| <b>Tipo de Suelo</b>    | Principalmente Mollisols (13.4% del territorio), caracterizados por ser suelos limosos y arcillosos, profundos y fértiles. |

Fuente: (GAD Parroquial de Santa Ana 2019).

### 2.3. Tipo de investigación

Se adoptó el método de Iglesias (2021), quien indica que la presente investigación corresponde al tipo descriptiva, ya que busca caracterizar y analizar el impacto del uso de drones en la aplicación de fertilizantes en pastizales.

### 2.4. Adquisición de datos

La adquisición de datos se realizó mediante el uso de drones equipados con sensores específicos para la agricultura de precisión. Estos vehículos aéreos no tripulados (VANT) permitirán la aplicación controlada de fertilizantes sobre los pastizales, así como la captura de información en tiempo real sobre las condiciones del cultivo y el suelo. Para la gestión y análisis de estos datos se utilizará software especializado como TAURUS Web o AGRISWEB, plataformas diseñadas para integrar la información recolectada por los drones, facilitando el monitoreo, la planificación y el control de la fertilización.

### 2.5. Tratamientos

Para evaluar la eficiencia de los fertilizantes aplicados mediante drones, se establecieron tres tratamientos diferenciados: un testigo sin fertilización, y dos tratamientos con fertilizantes orgánicos. Cada tratamiento (excepto el testigo) se realizarán 4 aplicaciones, con intervalos de 15 días, durante un periodo total de 60 días. En la tabla 1, se detallan los códigos y características de cada tratamiento.

**Tabla 1.** Tratamientos en estudio

| <b>Código</b> | <b>Tratamiento</b> | <b>Descripción</b>             | <b>Frecuencia de Aplicación</b> |
|---------------|--------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| T0            | Testigo            | Sin aplicación de fertilizante | No aplica                       |
| T1            | Orgánico           | Fertilizante FulviD 40         | Orgánico 0-15-30-45 días        |
| T2            | Químico            | Fertilizante Evergreen         | 0-15-30-45 días                 |

## 2.6. Diseño experimental

Para esta investigación se empleó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con un arreglo bifactorial 3x4, debido a que se evaluarán dos factores: el tipo de fertilizante y la frecuencia de aplicación. Se realizarán tres repeticiones por tratamiento para asegurar la confiabilidad de los resultados.

El área total del experimento será de 2250 m<sup>2</sup>, dividida en 3 parcelas donde cada una estuvo dispuesto con 4 bloques donde el total seria de 12 bloques de 187.5m<sup>2</sup>

## 2.7. Análisis Descriptiva

Los datos recolectados fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA) para determinar diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos. Para la comparación de medias se aplicará la Prueba de Tukey al 5 % de significancia. El procesamiento estadístico se llevará a cabo con el software InfoStat.

A continuación, se observa el Análisis de varianza y coeficiente de variación.

**Tabla 2.** Esquema de análisis de varianza (ADEVA)

| Fuentes de variación | G.L. |
|----------------------|------|
| Tratamientos         | 2    |
| Repeticiones         | 2    |
| Error                | 4    |
| Total                | 8    |

Este análisis determinó la precisión del ensayo, al tener en cuenta la siguiente formula:

$$CV = \frac{\sqrt{CMee}}{xto} \times 100$$

## 2.8. Datos por tomarse y métodos de evaluación

Para evaluar la calidad nutricional del pasto Mulato II bajo los diferentes tratamientos, donde los datos fueron procesados en Taurus web, y se analizaron las siguientes variables:

1. **Materia seca (MS %):** La materia seca corresponde al porcentaje de sólidos presentes en el forraje o alimento tras eliminar el agua. Este indicador permite comparar el contenido nutricional entre muestras, estandarizando los valores sin influencia de la humedad.
2. **Proteína bruta (Prot %):** Se determinó aplicando el método Kjeldahl.
3. **Proteína verdaderamente digerible o proteína degradable (PP %):** Es el porcentaje de proteína digerible.
4. **Fibra detergente neutra (FDN %):** Es el contenido de fibra insoluble en el forraje, vinculado a su digestibilidad y valor nutritivo.
5. **Fibra detergente ácida (FDA %):** Sirve para conocer su digestibilidad, debido que niveles altos de este parámetro indican menor aporte energético.
6. **Energía neta de lactación (ENL, MJ/kg):** Indica la energía disponible para la producción de leche, expresada en megajulios por kg de materia seca.

## 2.7. Manejo experimental

### 2.7.1. Obtención de pastizal mulato

El material vegetal para la siembra del pasto Mulato II fue adquirido en los viveros de INIAP Estación Experimental Pichilingue, que cuentan con disponibilidad y certificación de semillas o material de propagación para pasturas tropicales.

### 2.7.2. Siembra de pasto

La siembra se realizó en las parcelas experimentales preparadas, siguiendo las recomendaciones técnicas para el pasto Mulato II en cuanto a espaciamiento (60 cm x 1m) y profundidad, asegurando una adecuada densidad y uniformidad en la germinación.

### **2.7.3. Riego del pasto**

Se aplicó riego por aspersión considerando las condiciones climáticas secas propias de la zona.

### **2.7.4. Control de malezas, plagas y enfermedades**

El control fue realizado de manera manual y mecánica, evitando el uso de agroquímicos que puedan interferir con los tratamientos de fertilización durante el control de plagas y patógenos. El control de maleza se realizó previo a la siembra con el producto flechazo.

### **2.7.5. Aplicación de fertilizantes con drones**

La aplicación de fertilizantes en las parcelas se realizó mediante el uso del DRON TC50 equipado con sistemas de precisión para garantizar una distribución uniforme y controlada de los insumos. Cada tratamiento fue aplicado en cuatro ocasiones, con intervalos de 15 días, durante un período de 60 días. Los drones fueron programados para cubrir toda la superficie de cada parcela, ajustando la dosis según el tratamiento.

### **2.7.6. Toma de muestras**

Para el análisis nutricional, se recolectaron muestras representativas de 500 mg de forraje de cada tratamiento. Estas muestras serán almacenadas en bolsas tipo ziplock etiquetadas adecuadamente para su posterior envío y análisis en el laboratorio Agrar projekt.

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se analizó la composición nutricional del pasto Mulato II bajo los diferentes tratamientos aplicados, los resultados se muestran a continuación.

#### 3.1. Análisis bromatológico en función del tipo de fertilización foliar y la frecuencia de aplicación

Para la evaluación eficiente de la composición nutricional del pasto Mulato se realizó bajo la modalidad de tres tratamientos: testigo sin fertilización, testigo orgánico y testigo químico. De esta manera, para la toma de los resultados se realizó mediante el uso de drones los cuales fueron equipados con sensores para el área de agricultura, este dispositivo tomo los datos en tiempo real facilitando el monitoreo y control de la fertilización de las parcelas. Cada uno de los tratamientos tuvo un intervalo de tiempo de 15 días y se realizaron 4 aplicaciones de fertilizantes.

**Tabla 3.** Análisis bromatológico de los tratamientos evaluados

| Fertilización | Día | MS   | Prot   | PP<br>% | FDN   | FDA   | ENL<br>—<br>(MJ/kg) |
|---------------|-----|------|--------|---------|-------|-------|---------------------|
| Natural       | 0   | 17.2 | 10.8   | 20      | 70.0  | 38.5  | 3.4                 |
| Natural       | 15  | 17.6 | 13.2   | 20      | 64.5  | 34.0  | 3.95                |
| Natural       | 30  | 17.9 | 16.0   | 20      | 58.0  | 29.5  | 4.6                 |
| Natural       | 45  | 18.0 | 18.071 | 20      | 52.76 | 24.74 | 5.288               |
| Orgánica      | 0   | 17.2 | 7.2    | 20      | 68.5  | 37.2  | 3.6                 |
| Orgánica      | 15  | 17.6 | 9.9    | 20      | 64.8  | 35.1  | 4.05                |
| Orgánica      | 30  | 17.9 | 12.1   | 20      | 60.9  | 32.4  | 4.45                |



|          |    |      |        |    |       |       |       |
|----------|----|------|--------|----|-------|-------|-------|
| Orgánica | 45 | 18.0 | 14.37  | 20 | 56.94 | 30.48 | 4.829 |
| Química  | 0  | 17.2 | 18.4   | 20 | 55.0  | 25.5  | 5.2   |
| Química  | 15 | 17.6 | 19.6   | 20 | 52.0  | 22.0  | 5.45  |
| Química  | 30 | 17.9 | 20.4   | 20 | 50.5  | 19.5  | 5.6   |
| Química  | 45 | 18.0 | 21.226 | 20 | 49.2  | 18.16 | 5.679 |

\*Materia Seca (MS); Proteína (Prot); Proteína Pura (PP); Fibra Detergente Neutro (FDN); Fibra Detergente Ácida (FDA); Energía Neta de Lactancia (ENL).

En la tabla 1 se observa los resultados del análisis bromatológico de las diferentes fertilizaciones de T0, T1 y T2 en los 4 periodos de tiempo estimado durante el proyecto.

En relación a la materia seca (MS) del día 0 a los 45 días, los valores se mantuvieron en T0, T1 y T2 un periodo de evaluación de resultados entre el 17,2% y 18% no hubo alteración en las 4 aplicaciones realizadas en el tiempo determinado, con esto se evidencio que el tipo de fertilización no influyo en ningún tratamiento. La estabilidad observada en los valores de materia seca del pasto Mulato II concuerda con lo reportado por Cabra et al. (2020), quienes indican que este parámetro depende principalmente de la edad de rebrote y del estado fisiológico de la planta, más que del tipo de fertilización aplicada. De manera similar, Martínez et al. (2024) señalan que, en condiciones de manejo homogéneas y sin variaciones marcadas en el crecimiento del forraje, el contenido de materia seca tiende a mantenerse constante, lo que explica la ausencia de diferencias entre tratamientos durante el periodo de evaluación.

En el contenido de proteína (Prot.) se presentó un incremento de porcentaje durante el periodo de evaluación entre los tres tipos de fertilizantes. El que destaco fue T2 el cual demostró los valores más altos durante el periodo de fertilización, alcanzando un máximo de 21,22% a los 45 días esto se dio en el 4 tratamiento,

debido a que se hizo el uso respectivo del fertilizante Evergreen el cual es muy eficaz por su alto contenido de nitrógeno y aporta en dos formas, nítrica por su rápida absorción y por la liberación lenta, promoviendo un crecimiento robusto. Por otro lado, T0 obtuvo un resultado de 18,07% y T1 14,37% evidenciaron incrementos graduales durante los 45 días de intervalos. El incremento del contenido de proteína en los tres tratamientos, con un mayor valor en la fertilización química, coincide con lo señalado por Lima et al. (2022), quienes indican que la aplicación de fertilizantes nitrogenados favorece la síntesis proteica en las pasturas debido a una mayor disponibilidad de nitrógeno para el metabolismo vegetal. De igual manera, Phohlo et al. (2022) señalan que el uso de fuentes nitrogenadas como el Evergreen permite una absorción eficiente del nutriente, lo que se traduce en un aumento significativo del contenido proteico del forraje, tal como se observó en el tratamiento T2, mientras que los incrementos graduales registrados en los tratamientos sin fertilización y orgánico reflejan una respuesta más limitada a la disponibilidad de nitrógeno en el suelo.

En lo que respecta al contenido proteína pura o también denominada proteína cruda (PP), los resultados obtenidos de T0, T1 y T2 en el periodo de fertilización se mantuvieron constante con un 20% durante el plan de evaluación, lo que indica un balance uniforme en todos los tratamientos en los 60 días de programación. El contenido de proteína pura muestra que los tratamientos evaluados no generaron variaciones sobre este componente. La proteína pura durante todo el periodo de evaluación en los tres tratamientos concuerda con lo reportado por Jayasinghe et al. (2022), quienes señalan que, en pasturas tropicales, la proteína cruda puede mantenerse estable cuando las condiciones de crecimiento y la etapa fenológica no presentan variaciones significativas. De forma similar, Martínez et al. (2024) indican que, en el pasto Mulato II, la fertilización puede influir en otros componentes nutricionales sin necesariamente generar cambios apreciables en la proteína cruda.

Por otro lado, la fibra detergente neutro (FDN), se evidencio un porcentaje progresivo de resultados obteniendo el 56,94% T1, este valor se obtuvo a los 45 días de fertilización, debido a que se hizo el uso del fertilizante orgánico liquido “Salvador” el cual es elaborado a base de microorganismos con macro elementos

de rápida absorción, sirve para nutrir y fortalecer las plantas, facilitando los procesos biológicos que se producen en el suelo, suele ser usado para ciclos cortos, semi perennes y perennes. Mientras con un porcentaje de comparación T0 obtuvo un resultado de 52,76% seguido de T2 49,2% se observó una disminución progresiva de porcentajes. La fibra detergente neutro observado en los tratamientos evaluados coincide con lo reportado por Sandrakirana y Arifin (2021), quienes señalan que la fertilización orgánica tiende a favorecer una mayor acumulación de fracciones estructurales de la planta debido a la estimulación de procesos biológicos asociados al crecimiento vegetal. De manera similar, Cabra et al. (2020) indican que el incremento de FDN en pasto Mulato II puede estar relacionado con un desarrollo vegetativo más fibroso cuando se emplean insumos orgánicos, mientras que la reducción progresiva de este componente en el tratamiento químico responde a una mayor eficiencia nutricional, lo que favorece una menor proporción de fibra y una mejor calidad del forraje.

Mientras que en la fibra detergente ácida (FDA) muestra incremento de porcentaje de un 30,48% en T1, seguido de T0 24,74% y T2 18,16%, en comparación se observa los resultados de T2, se obtuvo una disminución progresiva conforme avanzaba el periodo de aplicación de fertilizantes. El aumento de fibra detergente ácida en el orgánico va con lo que dice Martínez et al. (2024), quienes mencionan que los fertilizantes orgánicos lignifican más los tejidos, subiendo la FDA. Igual, Lima et al. (2022) explican que, con nitrógeno, esa fibra baja debido al crecimiento más eficiente del forraje, es decir, a menos estructura fibrosa, más digestibilidad. Justo lo que pasó en el químico (T2).

Sin embargo, en la energía neta de lactancia (ENL), se observó un incremento de porcentaje conforme al periodo de tiempo en los tres tratamientos. El mayor resultado lo obtuvo el T2 (5,679 MJ/kg), seguido del T0 (5,288 MJ/kg) y T1 (4,829 MJ/kg). Estos resultados se presenciaron en el último periodo de fertilización a los 45 días. El incremento de la energía neta de lactancia registrado en los tratamientos evaluados, particularmente en el tratamiento químico, coincide con lo reportado por Jayasinghe et al. (2022), quienes señalan que una mayor eficiencia en la

asimilación de nutrientes, especialmente N, favorece el aumento del valor energético del forraje.

Los resultados obtenidos indican que la fertilización química (T2) favoreció el incremento de los valores de proteína y energía neta de lactancia, obtuvo porcentajes de incremento en comparación de (T0) sin uso de fertilizantes y (T1) fertilizantes orgánicos en un periodo experimental de 60 días correspondiente al tiempo estimado del proyecto.

A continuación, se observan los resultados de los análisis del forraje en tres parcelas: sin fertilizante (T0), la orgánica (T1) y la química (T2). Se observan parámetros como materia seca, proteína, fibras (FDN y FDA), energía para leche y minerales.

Los datos se procesaron en Taurus web, y se usaron drones a 40 metros para monitorear, y observar cada tratamiento y como afecta la calidad del pasto para vacas lecheras, con mejoras en digestión, energía y nutrientes.

#### Parcela natural (T0) a 40 metros de altura

|   | Alimento            |   | Ms % | Prot. % | Pp % | FDN % | FDA % | ENL Mj |
|---|---------------------|---|------|---------|------|-------|-------|--------|
| 1 | Parcela Natural (0) | × | 18   | 5.893   | 20   | 66.5  | 35.58 | 3.777  |
| 2 | Seleccione          | ▼ |      |         |      |       |       |        |
| 3 | Seleccione          | ▼ |      |         |      |       |       |        |
| 4 | Seleccione          | ▼ |      |         |      |       |       |        |
| 5 | Seleccione          | ▼ |      |         |      |       |       |        |
| 6 | Seleccione          | ▼ |      |         |      |       |       |        |

1  
Mcal  
=  
4.18  
Mjul

**Figura 2.** Modelo de análisis nutricional bovinos leche pastoreo sin fertilizantes

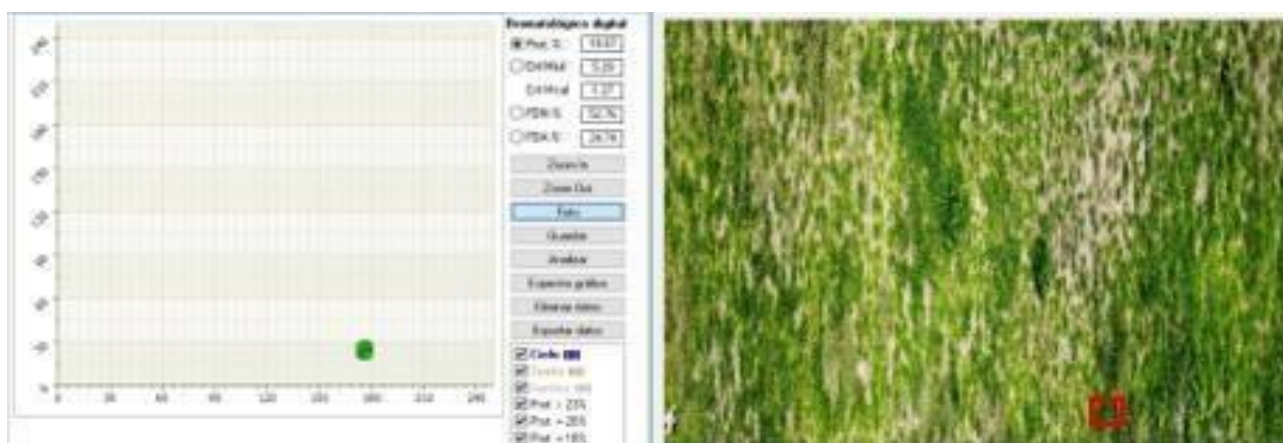
Se observa el porcentaje de los resultados total de los parámetros bromatológicos del forraje evaluado, parcela T0 sin aplicación de fertilizantes con resultados obtenidos durante el tiempo del proyecto, estos resultados reflejan un contenido moderado de fibra y un aporte energético limitado.

|   | Alimento            |   | Ms % | Prot. % | Pp % | FDN % | FDA % | ENL Mj |
|---|---------------------|---|------|---------|------|-------|-------|--------|
| 1 | Parcela Natural (0) | × | 18   | 18.071  | 20   | 52.76 | 24.74 | 5.288  |
| 2 | Seleccione          | ▼ |      |         |      |       |       |        |
| 3 | Seleccione          | ▼ |      |         |      |       |       |        |
| 4 | Seleccione          | ▼ |      |         |      |       |       |        |
| 5 | Seleccione          | ▼ |      |         |      |       |       |        |
| 6 | Seleccione          | ▼ |      |         |      |       |       |        |

1  
Mcal  
=  
4.18  
Mjul

**Figura 3.** Modelo de análisis de parte vegetativa sin fertilizantes

Se detallan los resultados obtenidos de T0 correspondiente al último periodo de aplicación de fertilizantes evaluado en los 45 días, tiempo estimado del proyecto. Durante este periodo se evidencio un incremento progresivo en la energía neta de lactancia alcanzando un valor de 5,288 MJ/kg, lo que refleja una mejora en el aporte energético del forraje.



**Figura 4.** Ubicación de la parcela de la parte vegetativa sin fertilizantes

Se observa la parte vegetativa correspondiente a T0, área en el cual se desarrolló la práctica del proyecto. En esta sección se identifica la parcela seleccionada para la evaluación, la cual fue monitoreada mediante drones equipados con sensores.



| Alimento              | Ms % | Ca % | P %  | Mg % | K %  | Cu mg/kg | Fe mg/kg | Zn mg/kg | Mn mg/kg | Bo mg/kg | S %  |
|-----------------------|------|------|------|------|------|----------|----------|----------|----------|----------|------|
| 1 Parcela Natural (0) | x 18 | 0.47 | 0.22 | 0.11 | 1.38 | 3.61     | 169      | 34       | 215      | 3.33     | 0.13 |
| 2 Seleccione          | ▼    |      |      |      |      |          |          |          |          |          |      |
| 3 Seleccione          | ▼    |      |      |      |      |          |          |          |          |          |      |
| 4 Seleccione          | ▼    |      |      |      |      |          |          |          |          |          |      |
| 5 Seleccione          | ▼    |      |      |      |      |          |          |          |          |          |      |
| 6                     |      |      |      |      |      |          |          |          |          |          |      |

0.1 % = 1000 mg/kg

**Figura 5.** Análisis mineral y producción de carne sin fertilizantes.

Muestra el análisis mineral del forraje correspondiente a T0, se evidencia un adecuado aporte de macro y micro minerales esenciales, elementos como calcio, fósforo magnesio y potasio contribuyen a la producción de leche y carne, estos resultados indican un forraje equilibrado para la alimentación bovina.

### Parcela fertilización orgánica a 40 metros de altura

| Alimento           | Ms % | Prot. % | Pp % | FDN % | FDA % | ENL Mj |
|--------------------|------|---------|------|-------|-------|--------|
| 1 Parcela Organica | 18   | 6.14    | 20   | 66.22 | 35.59 | 3.808  |
| 2 Seleccione       | ▼    |         |      |       |       |        |
| 3 Seleccione       | ▼    |         |      |       |       |        |
| 4 Seleccione       | ▼    |         |      |       |       |        |
| 5 Seleccione       | ▼    |         |      |       |       |        |
| 6 Seleccione       | ▼    |         |      |       |       |        |

1  
Mcal  
=  
4.18  
Mjul

**Figura 6.** Modelo de análisis nutricional bovinos leche pastoreo orgánico

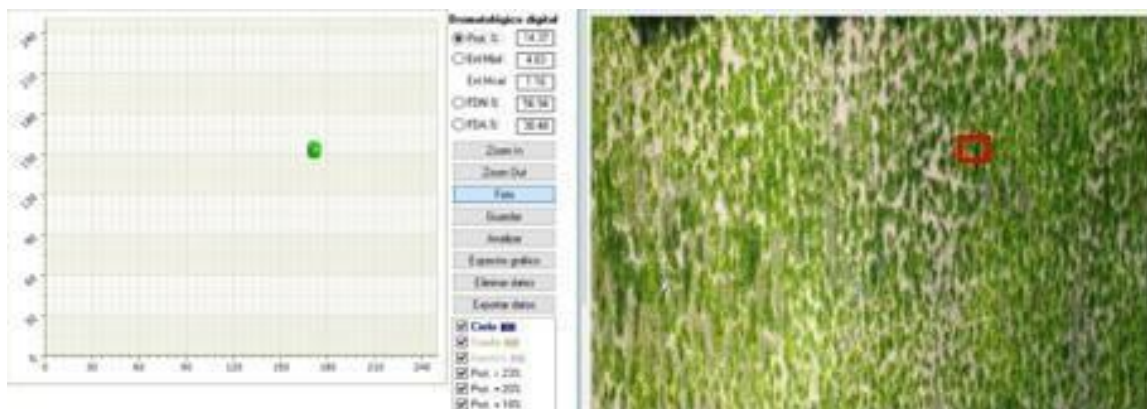
Presenta los resultados de la parcela orgánica (T1), los resultados muestran un 18% de materia seca, con resultados de proteína y energía superiores en comparación con T0, las fibras FDN y FDA se mantienen en rangos adecuados para una correcta digestión del forraje y el aporte energético contribuye a los bovinos en lactancia.

| Alimento           | Ms % | Prot. % | Pp % | FDN % | FDA % | ENL Mj |
|--------------------|------|---------|------|-------|-------|--------|
| 1 Parcela Orgánica | x 18 | 14.37   | 20   | 56.94 | 30.48 | 4.829  |
| 2 Seleccione       | ▼    |         |      |       |       |        |
| 3 Seleccione       | ▼    |         |      |       |       |        |
| 4 Seleccione       | ▼    |         |      |       |       |        |
| 5 Seleccione       | ▼    |         |      |       |       |        |
| 6 Seleccione       | ▼    |         |      |       |       |        |

1  
Mcal  
=  
4.18  
Mjul

**Figura 7.** Modelo de análisis de parte vegetativa orgánica

Los valores obtenidos de T1 durante el periodo del proyecto muestran un forraje con un nivel de proteína equilibrado y una digestión aceptable de un 30,48% (FDA), en comparación a T0 con un porcentaje de 24,74%, además muestra un bajo porcentaje de materia seca el cual implica que el bovino deberá consumir una gran cantidad de alimentos fresco para satisfacer sus requerimientos nutricionales a diario.



**Figura 8.** Ubicación de la parcela de la parte vegetativa orgánica

Se ha delimitado el área destinada al establecimiento de la parcela orgánica T1, la cual será monitoreada por drones especializados durante el periodo de ejecución del proyecto, en esta zona se tomarán los análisis a evaluar para el desarrollo de la investigación.

| Alimento           | Ms % | Ca % | P %  | Mg % | K %  | Cu mg/kg | Fe mg/kg | Zn mg/kg | Mn mg/kg | Bo mg/kg | S %  |
|--------------------|------|------|------|------|------|----------|----------|----------|----------|----------|------|
| 1 Parcela Orgánica | 18   | 0.46 | 0.21 | 0.14 | 1.29 | 3.5      | 149      | 33       | 194      | 3.34     | 0.12 |
| 2 Seleccione       | ▼    |      |      |      |      |          |          |          |          |          |      |
| 3 Seleccione       | ▼    |      |      |      |      |          |          |          |          |          |      |
| 4 Seleccione       | ▼    |      |      |      |      |          |          |          |          |          |      |
| 5 Seleccione       | ▼    |      |      |      |      |          |          |          |          |          |      |
| 6                  |      |      |      |      |      |          |          |          |          |          |      |

0.1 % = 1000 mg/kg

**Figura 9.** Análisis mineral y producción de carne parcela orgánica

El análisis de la parcela orgánica T1, detalla un porcentaje de materia del 18%, respecto a los minerales registra niveles principales de calcio 0,46%, fosforo 0,21% y potasio 1,29%, tienes micronutrientes esenciales como el hierro 149mg/kg y

manganeso 194mg/kg, lo cual es consolidado una base mineral equilibrada para la producción.

### Parcela química a 40 metros de altura

|   | Alimento                                    | Ms % | Prot. % | Pp % | FDN % | FDA % | ENL Mj |
|---|---------------------------------------------|------|---------|------|-------|-------|--------|
| 1 | Parcela Fertilizada                         | 18   | 8.104   | 20   | 64    | 35.33 | 4.051  |
| 2 | Seleccione <input type="button" value="v"/> |      |         |      |       |       |        |
| 3 | Seleccione <input type="button" value="v"/> |      |         |      |       |       |        |
| 4 | Seleccione <input type="button" value="v"/> |      |         |      |       |       |        |
| 5 | Seleccione <input type="button" value="v"/> |      |         |      |       |       |        |
| 6 | Seleccione <input type="button" value="v"/> |      |         |      |       |       |        |

1  
Mcal  
=  
4.18  
Mjul

**Figura 10.** Modelo de análisis nutricional bovinos leche pastoreo fertilizante químico.

En la figura 9 se presentan los resultados correspondientes a la parcela tratada con fertilización química (T2), en la cual se utilizó Evergreen como una fuente de fertilizante. La aplicación de este insumo contribuyo de manera significativa al crecimiento y desarrollo del forraje, el cual servirá para la alimentación de los bovinos.

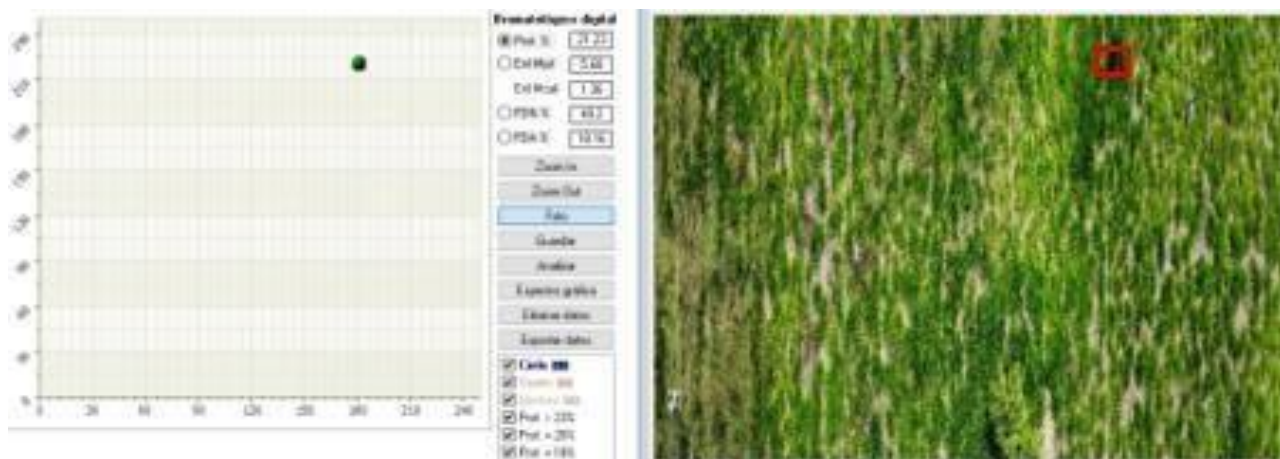
|   | Alimento                                             | Ms % | Prot. % | Pp % | FDN % | FDA % | ENL Mj |
|---|------------------------------------------------------|------|---------|------|-------|-------|--------|
| 1 | Parcela Fert.Quimi. <input type="button" value="x"/> | 18   | 21.226  | 20   | 49.2  | 18.16 | 5.679  |
| 2 | Seleccione <input type="button" value="v"/>          |      |         |      |       |       |        |
| 3 | Seleccione <input type="button" value="v"/>          |      |         |      |       |       |        |
| 4 | Seleccione <input type="button" value="v"/>          |      |         |      |       |       |        |
| 5 | Seleccione <input type="button" value="v"/>          |      |         |      |       |       |        |
| 6 | Seleccione <input type="button" value="v"/>          |      |         |      |       |       |        |

1  
Mcal  
=  
4.18  
Mjul

**Figura 11.** Modelo de análisis de parte vegetativa con fertilizante químico

Se detalla los valores obtenidos durante el periodo del proyecto, respecto a la cuarta aplicación de fertilizante químicos con un porcentaje de proteína del 21,226%, energía neta de lactancia de 5,679 MJ/kg, y presento una reducción en los niveles de fibra, lo que significa que habrá una mayor digestibilidad en comparación con los fertilizantes orgánicos.





**Figura 12.** Ubicación de la parcela parte vegetativa con fertilizantes químicos

Área en donde se encuentra ubicada correspondientemente T2, parcela con usos de fertilizantes químicos, la cual fue identificada y registrada mediante drones especializados, permitiendo una adecuada delimitación y evaluación del área de estudio.

| Alimento                | Ms % | Ca % | P %  | Mg % | K % | Cu mg/kg | Fe mg/kg | Zn mg/kg | Mn mg/kg | Bo mg/kg | S %  | 0.1 % = 1000 mg/kg |
|-------------------------|------|------|------|------|-----|----------|----------|----------|----------|----------|------|--------------------|
| 1 Parcela Fert.Quimi. x | 18   | 0.44 | 0.24 | 0.15 | 1.7 | 3.89     | 146      | 32       | 168      | 3.22     | 0.15 |                    |
| 2 Seleccione v          |      |      |      |      |     |          |          |          |          |          |      |                    |
| 3 Seleccione v          |      |      |      |      |     |          |          |          |          |          |      |                    |
| 4 Seleccione v          |      |      |      |      |     |          |          |          |          |          |      |                    |
| 5 Seleccione v          |      |      |      |      |     |          |          |          |          |          |      |                    |
| 6                       |      |      |      |      |     |          |          |          |          |          |      |                    |

**Figura 13.** Análisis mineral y producción de carne parcela con fertilización química

Se registra los resultados de la parcela con uso de fertilizantes químicos (T2), en este manejo logro elevar la proteína y la energía neta de lactancia, en lo que respecta a lo mineral, destaco por un incremento de porcentaje en el potasio 1,7% y un aporte de hierro de 146 mg/kg, este tipo de fertilización optimizo la densidad proteica y energética para un crecimiento acelerado.

### 3.1. Determinación del mejor tratamiento

De acuerdo con los resultados del análisis bromatológico del pasto Mulato II, el tratamiento con fertilización química (T2) evidenció el mejor comportamiento nutricional durante el periodo experimental, reflejado en mayores contenidos de

proteína y energía neta de lactancia al finalizar los 45 días de evaluación, lo que se asocia directamente con una mejora en la calidad del forraje; este comportamiento coincide con lo reportado por Cabra et al. (2020), quienes señalan que una fertilización adecuada favorece el incremento del valor nutritivo en esta especie forrajera.

Asimismo, la disminución progresiva de la fibra detergente neutro y fibra detergente ácida observada en T2 sugiere una mayor digestibilidad y un mejor aprovechamiento de los nutrientes por parte de los bovinos en producción lechera, resultados que concuerdan con lo expuesto por Martínez et al. (2024) al indicar que la reducción de fracciones fibrosas mejora la eficiencia alimenticia del ganado.

Se puede afirmar que el tratamiento químico presentó el mejor desempeño debido al uso de Evergreen como fuente de fertilización, ya que este fertilizante suministra nitrógeno en formas de rápida y gradual disponibilidad para la planta, favoreciendo el desarrollo vegetativo del pasto y el incremento del contenido proteico y energético del forraje, tal como lo señalan Lima et al. (2022) al destacar la relación directa entre la fertilización nitrogenada y la mejora del valor nutricional en pasturas. Asimismo, los niveles adecuados de macro y micronutrientes evidenciados en el análisis mineral contribuyeron a optimizar el valor nutricional del pasto y su potencial productivo dentro del sistema de alimentación bovina, lo cual concuerda con lo reportado por Maduro et al. (2024), quienes indican que una fertilización nitrogenada balanceada mejora tanto la composición química como la eficiencia productiva de las pasturas.

En contraste, el tratamiento sin fertilización (T0) fue el que mostró los menores resultados sobre la calidad nutricional del forraje, debido que si bien presentó incrementos a lo largo del periodo de evaluación, los valores de proteína y energía se mantuvieron por debajo de los obtenidos en los tratamientos con fertilización.

### **3.1. Estimación económica**

La tabla 3 muestra los costos de las actividades técnicas y operativas, sobre todo los drones agrícolas, insumos y logística. Incluye gastos directos como fertilizantes, combustible, alquiler de drones, software y materiales para muestras. También

cubre lo básico para operar: mano de obra, transporte, viáticos y capacitación del equipo. Sumado a eso, hay rubros para mantener todo en marcha, como mantenimiento preventivo, repuestos, herramientas chicas y cosas de riego (collarines, aspersores y mangueras). Lo más alto fue el mantenimiento preventivo de maquinaria, viáticos para traslados, capacitación y alquiler de dron. Al final, todo suma un total de 1.735 dólares.

**Tabla 4.** Estimación económica del estudio

| <b>Detalle</b>                                                   | <b>Costo Unitario<br/>(USD)</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Costo Total<br/>(USD)</b> |
|------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------|------------------------------|
| Fertilizantes                                                    | 25.00                           | 4               | 100.00                       |
| Viáticos                                                         | -                               | -               | 300.00                       |
| Gasolina para drones y<br>maquinaria                             | 3.50                            | 10              | 35.00                        |
| Alquiler o uso de dron<br>agrícola                               | 50.00                           | 4               | 200.00                       |
| Software Taurus Web /<br>AgrisWeb                                | 100.00                          | 1               | 100.00                       |
| Material para toma de<br>muestras (bolsas<br>ziplock, etiquetas) | 0.50                            | 12              | 6.00                         |
| Mano de obra<br>(operadores, técnicos)                           | 20.00                           | 5               | 100.00                       |
| Transporte<br>(desplazamientos)                                  | 10.00                           | 4               | 40.00                        |
| Collarines                                                       | -                               | -               | 100                          |
| Aspersores                                                       | -                               | -               | 50                           |

|                                        |        |   |                 |
|----------------------------------------|--------|---|-----------------|
| Mangueras                              | -      | - | 50              |
| Mantenimiento preventivo de maquinaria | 320.00 | 1 | 320.00          |
| Capacitación del personal              | 60.00  | 4 | 240.00          |
| Repuestos y herramientas menores       | 47.00  | 2 | 94.00           |
| <b>Total General</b>                   |        |   | <b>1,735.00</b> |

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 CONCLUSIONES

- En relación con el análisis de la composición nutricional del pasto Mulato II, se concluye que los diferentes tratamientos de fertilización influyeron de forma diferenciada en los parámetros bromatológicos evaluados. La materia seca se mantuvo estable en todos los tratamientos, mientras que la proteína y la energía neta de lactancia mostraron incrementos progresivos a lo largo del periodo de evaluación, especialmente en el tratamiento químico. Asimismo, los contenidos de fibra tuvieron variaciones según el tipo de fertilización, donde el tratamiento químico, presentó una mayor digestibilidad y un mejor aprovechamiento nutricional del forraje.
- Se determinó que el tratamiento más eficiente fue la fertilización química (T2) en la mejora de la calidad nutricional del pasto Mulato II. Este tratamiento presentó los mayores valores nutricionales, lo que indica una respuesta favorable del cultivo al uso de Evergreen. El uso de drones permitió una aplicación precisa y un monitoreo eficiente de los tratamientos, contribuyendo a optimizar el desarrollo vegetativo y el rendimiento nutricional del forraje.
- Se concluye con la aceptación de la hipótesis alternativa, debido que la aplicación de fertilizantes mediante drones mejoró significativamente el desarrollo del pasto Mulato II en el cantón Santa Ana, Manabí, evidenciado por incrementos en los contenidos de proteína y energía neta de lactancia, con las aplicaciones principalmente del tratamiento químico.

## 4.2 RECOMENDACIONES

- Asimismo, es pertinente revisar tesis enfocadas en la evaluación de diferentes tipos de fertilización (orgánica y química) sobre el rendimiento y la calidad nutricional de pasturas, además de analizar variables como nitrógeno, clorofila y otros indicadores fisiológicos del cultivo.
- Se recomienda desarrollar futuras investigaciones que incluyan un mayor periodo de evaluación del pasto Mulato II, con el fin de analizar el comportamiento nutricional y productivo del forraje a mediano y largo plazo, lo que permitiría identificar con mayor precisión los tratamientos de fertilización aplicados mediante drones.
- Se recomienda ampliar la aplicación de la fertilización asistida por drones a otros cultivos agrícolas y forrajeros de la zona, con el propósito de evaluar su efecto sobre el desarrollo vegetativo, la composición nutricional y el rendimiento productivo.

## BIBLIOGRAFIA

- Araújo, A; Pizzino, C; Couceiro, M; Rocha, R. 2025. Prueba de concepto de un sistema multidron para aplicaciones forestales (en línea). Drones 9(2):1-12. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones9020080>.
- Cabra, C; Pesqueira, L; Vieira, L; Behling, A. 2020. Altura de defoliación y fertilización potásica del pasto Mulato II. Semina: Ciencias Agrárias, Londrina 38(4):2719-2726.
- Castillo, S; Flores, J; Ayala, M; Carachure, C; Ayala, A. 2025. Optimización del sector agrícola mediante el análisis de datos para una gestión eficiente de los recursos naturales (en línea). Ciencia Latina Revist. Revista Multidisciplinar 9(2):241-257. Disponible en <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/download/16816/24123>.
- Del Cerro, J; Cruz, C; Barrientos, A; De León, J. 2021. Vehículos aéreos no tripulados en la agricultura: una encuesta (en línea). Agronomía 11(2):1-9. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11020203>.
- Díaz, J; Quiñonez, Y; De la Hoz, E; Butt, S; Mercado, T; Salcedo, D. 2025. Tecnologías de la información y la comunicación utilizadas en la agricultura de precisión: una revisión sistemática (en línea). Ingeniería agrícola 7(6):1-9. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriengineering7060167>.
- Gamboa, J; Estrada, J; Bustos, C; Alzamora, C; Valenzuela, J; Tavera, C; Gamarra, J; Amayo, F. 2026. Una revisión de los drones en la agricultura inteligente: problemas, modelos, tendencias y desafíos (en línea). Sostenibilidad 18(1):1-10. DOI: <https://doi.org/10.3390/su18010507>.
- Gryparis, C; Krasoudaki, T; Maravelaki, P. 2022. Recubrimientos autolimpiables para la protección de materiales cementicios: El efecto del contenido de puntos de carbono en la mejora de la actividad catalítica del TiO<sub>2</sub> (en línea). Recubrimientos 12(5):1-8. DOI: <https://doi.org/10.3390/coatings12050587>.
- Guebsi, R; Mami, S; Chokmani, K. 2024. Drones en la agricultura de precisión: Una revisión exhaustiva de aplicaciones, tecnologías y desafíos (en línea).



Drones 8(11):1-12. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones8110686>.

- Jayasinghe, P; Ramilan, T; Donaghy, D; Pembleton, K; Barber, D. 2022. Comparación de los valores nutritivos de especies de pasturas tropicales cultivadas en diferentes entornos y sus implicaciones para la producción de metano en el ganado: un metaanálisis (en línea). *Agricultura* 12(14):1-14. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani12141806>.
- Lima, L; Ongaratto, F; Fernandes, M; Cardoso, A; Lage, J; Silva, L; Reis, R; Malheiros, E. 2022. Respuesta de la fertilización nitrogenada de los pastos a las emisiones de gases de efecto invernadero y al aporte neto de proteína de los toros jóvenes (en línea). *Animales* 12(22):1-12. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani12223173>.
- Llive, F; Cadillo, J; Liger, B; Rosero, G; Fraga, E; Ramos, J. 2015. Vulnerabilidad y dependencia internacional de fertilizantes en el Ecuador CEPROEC Documento de Trabajo 2015\_04 VULNERABILIDAD ... OF 1 28. Vulnerabilidad (c):3-25.
- Maduro, C; Machado, M; Nunes, H; Borba, A; Madruga, J; Monjardino, P. 2024. Fertilización nitrogenada con fertilizantes convencionales y de liberación lenta en múltiples niveles en pasturas de *Lolium multiflorum* Lam. (en línea). *Agronomía* 14(10):1-12. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy14102191>.
- Martínez, M; Garay, J; Ventura, J; Estrada, B; Limas, A; Joaquín, S. 2024. Productividad y calidad de pasto Mulato II (*Urochloa* híbrido) solo y ensilado con subproductos agroindustriales (en línea). *Ecosistemas y recursos agropecuarios* 11(2):1-15. Disponible en <https://www.scielo.org.mx/pdf/era/v11n2/2007-901X-era-11-02-e4080.pdf>.
- Monteiro, A; Santos, S; Gocalves, P. 2021. Agricultura de precisión para la agricultura y la ganadería: breve reseña (en línea). *Animales* 11:1-18. Disponible en <https://www.mdpi.com/2076-2615/11/8/2345>.
- Núñez, J; Meneses, F; Cruz, W; Estrada, R. 2026. Caracterización basada en agrupamiento de rebaños mixtos y la influencia de la fertilización de pasturas



en sistemas ganaderos altoandinos (en línea). Ruminantes 6(1):1-10. DOI: <https://doi.org/10.3390/ruminants6010005>.

Phohlo, M; Swanepoel, P; Hinck, S. 2022. La fertilización excesiva con nitrógeno limita el rendimiento del forraje y la eficiencia del uso del nitrógeno en los pastos lecheros (en línea). Sostenibilidad 14(7):1-12. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14074322>.

Pino, E. 2020. Los drones una herramienta para una agricultura eficiente: un futuro de alta tecnología. Idesia (Arica) 37(1):75-84.

Rapiya, M; Mndela, M; Truter, W; Ramoelo, A. 2025. Evaluación de la viabilidad económica de las prácticas sostenibles de gestión de pastizales y pastizales: Una revisión (en línea). Agricultura 15(7):1-13. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture15070690>.

Ríos, R. 2021. Uso de los Drones o Vehículos Aéreos no Tripulados en la Agricultura de Precisión (en línea). Revista Ingeniería Agrícola 11(4):1-10. Disponible en <https://www.redalyc.org/journal/5862/586268743010/html/>.

Ruiz, M; García, R; Machado, N. 2023. Aplicación de drones en la agricultura internacional y cubana. Una revisión (en línea). Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias 33(1):1-10. Disponible en [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2071-00542024000100007](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542024000100007).

Ruiz, M; García, R; Machado, N. 2024. Aplicación de drones en la agricultura internacional y cubana. Revisión (en línea). Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias 33(1):1-9. Disponible en [http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v33n1/es\\_2071-0054-rcta-33-01-e07.pdf](http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v33n1/es_2071-0054-rcta-33-01-e07.pdf).

Sandrakirana, R; Arifin, Z. 2021. Estudio de la aplicación de fertilizantes orgánicos y químicos en la producción de soja ( Glycine max ) en suelo seco (en línea). Rev. Fac. Nac. Agrón. Medellín 74(3):9643-9653. Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v74n3/2248-7026-rfnam-74-03-9643.pdf>.

Santos, W; Costa, Lady; Bezerra, A; Bastos, L; Da Rosa, A; Alves, C; Freire, T.

2024. Uso de vehículos aéreos no tripulados para el monitoreo de pasturas y forrajes en ciencias agrícolas: una revisión sistemática (en línea). Drones 8(10):1-9. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones8100585>.

Dos Santos, W; Costa, Lady; Bezerra, A; Bastos, L; Maniçoba, A; Vinícius, M; Alves, C; Freire, T. 2024. Uso de vehículos aéreos no tripulados para el monitoreo de pasturas y forrajes en ciencias agrícolas: una revisión sistemática (en línea). Drones 8(10):1-10. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones8100585>.

Schnabel, O; Rivera, R; Farías, M. 2023. Influencia de la condición topográfica de la ladera en el comportamiento productivo de *Megathyrus maximus* (Jacqs.) B.K. Simon & S.W.L. Jacobs (en línea). Pastos y Forrajes 46:1-5. Disponible en [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-03942023000100004](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942023000100004).

Silva, M; Zainol, I; Tanoeiro, J; Sitowski, A; Major, I; Murphy, E; Fehrenbach, G. 2025. Purines ganaderos y gestión sostenible de pasturas: Funciones microbianas, impactos ambientales (en línea). Microorganismos 13(4):1-12. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms13040788>.

Tadesse, W; Alemu, B; Addis, M. 2021. Efectos del espaciamiento entre plantas y la dosis de fertilizante en el rendimiento forrajero y la composición química del pasto híbrido *Urochloa* cv. Mulato II durante los primeros 150 días de crecimiento con riego suplementario (en línea). Pastizales Tropicales - Forrajes 9(3). Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/354977728\\_Effects\\_of\\_plant\\_spacing\\_and\\_fertilizer\\_level\\_on\\_forage\\_yield\\_and\\_chemical\\_composition\\_of\\_hybrid\\_Urochloa\\_cv\\_Mulato\\_II\\_grass\\_during\\_the\\_first\\_150\\_days\\_of\\_growth\\_under\\_irrigation\\_supplementation\\_in\\_Cha](https://www.researchgate.net/publication/354977728_Effects_of_plant_spacing_and_fertilizer_level_on_forage_yield_and_chemical_composition_of_hybrid_Urochloa_cv_Mulato_II_grass_during_the_first_150_days_of_growth_under_irrigation_supplementation_in_Cha).

Vicente, S; Calle, M. 2025. Fertilizantes en la producción agrícola: un análisis de la percepción de uso (en línea). Apuntes del Cenes 43(78):1-9. Disponible en [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-30532024000200209](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-30532024000200209).

## ANEXOS

**Anexo 1.** Vista a 40 metros con el uso de dron utilizando fertilizante orgánico



**Anexo 2.** Vista a 40 metros con el uso de dron utilizando fertilizante orgánico



**Anexo 3.** Vista a 40 metros con el uso de dron utilizando fertilizante químico

