

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI



FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA DE AGROPECUARIA

Tema: “Comparación de técnicas de agricultura de precisión y convencionales en la medición de biomasa en mezclas forrajeras en el Centro Experimental San Francisco-UPEC”

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del
título de Ingeniero en Agropecuaria

AUTOR: Cajas Pasquel Cristian Fernando

TUTOR: Ing. Ibarra Rosero Edison Marcelo MSc.

Tulcán, 2025.

CERTIFICADO DEL TUTOR

Certifico que el estudiante Cajas Pasquel Cristian Fernando con el número de cédula 0401871587 ha desarrollado el Trabajo de Integración Curricular: “Comparación de técnicas de agricultura de precisión y convencionales en la medición de biomasa en mezclas forrajeras en el Centro Experimental San Francisco-UPEC”

Este trabajo se sujeta a las normas y metodología dispuesta en el Reglamento de la Unidad de Integración Curricular, Titulación e Incorporación de la UPEC, por lo tanto, autorizo la presentación de la sustentación para la calificación respectiva.



Ing. Ibarra Rosero Edison Marcelo MSc.

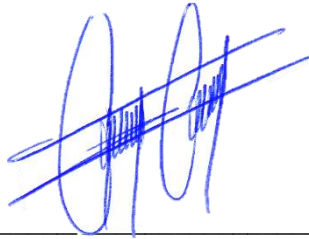
TUTOR

Tulcán, julio del 2025

AUTORÍA DE TRABAJO

El presente Trabajo de Integración Curricular constituye un requisito previo para la obtención del título de Ingeniero en la Carrera de agropecuaria de la Facultad de Industrias Agropecuarias y Ciencias Ambientales

Yo, Cajas Pasquel Cristian Fernando con cédula de identidad número 0401871587 declaro que la investigación es absolutamente original, auténtica, personal y los resultados y conclusiones a los que he llegado son de mi absoluta responsabilidad.

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized, overlapping loops and lines, positioned above a horizontal line.

Cajas Pasquel Cristian Fernando

AUTOR

Tulcán, julio del 2025

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo, Cajas Pasquel Cristian Fernando declaro ser autor de los criterios emitidos en el Trabajo de Integración Curricular: "Comparación de técnicas de agricultura de precisión y convencionales en la medición de biomasa en mezclas forrajeras en el Centro Experimental San Francisco-UPEC" y eximo expresamente a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi y a sus representantes de posibles reclamos o acciones legales.



Cajas Pasquel Cristian Fernando

AUTOR

Tulcán, julio del 2025

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi más profundo agradecimiento a Dios, por concederme la vida, la salud, la fortaleza y su presencia en mi vida, su guía fue mi impulso para no rendirme y superar cada obstáculo que se presentó a lo largo de este camino.

A mis padres, Lorena y Segundo. Gracias a ellos logre el sueño de ser profesional, por cada sacrificio silencioso dieron todo lo necesario para lograr mis metas. Son y seguirán siendo mi mayor ejemplo y mi fuente constante de inspiración para seguir creciendo personal y profesionalmente.

A mis hermanas, Andrea y Fernanda por su compañía inquebrantable, por motivarme a estudiar y no rendirme.

A mi compañera de vida Estefanía, por su paciencia, amor y constante apoyo estuvo presente siempre. Por comprender mis ausencias y exigencias durante todos estos años, gracias por brindarme el aliento que tanto necesité para seguir adelante.

A mi hija Yareli, mi mayor razón para continuar en este proceso. Cada logro mío lleva mucho amor y el deseo de brindarle un mejor futuro.

Mi agradecimiento especial a mi tutor, MSc. Paul Ortiz y lector MSc. Marcelo Ibarra por su valioso acompañamiento, orientación, paciencia y compromiso durante la elaboración de este trabajo de investigación. Su conocimiento fue la guía fundamental alcanzar este objetivo.

A mis amigos, gracias por estar presentes en cada etapa, por sus palabras de ánimo, su lealtad y por brindarme siempre su apoyo sin condiciones.

Finalmente, agradezco a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi, por abrirme las puertas a la educación superior, por ser parte de mi crecimiento académico y por poner a mi disposición las herramientas y docentes preparados necesarios para mi desarrollo como profesional.

Cajas Pasquel Cristian Fernando

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía, mi fuerza y mi refugio en cada momento de este camino; a mis padres, Lorena y Segundo, por su amor incondicional, sus sacrificios y por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia; a mis hermanos, Andrea y Fernanda, por estar siempre a mi lado con su apoyo y palabras de aliento; a mi compañera de vida Estefanía, por su paciencia, comprensión y por caminar junto a mí en cada etapa de este proceso; y a mi hija Yareli, mi mayor inspiración, cuya existencia me impulso cada día a ser mejor y a construir un futuro lleno de amor y esperanza. Este logro es el reflejo de todo el esfuerzo compartido y del respaldo que he recibido de cada uno de ustedes.

Cajas Pasquel Cristian Fernando

ÍNDICE

RESUMEN	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	12
I. EL PROBLEMA	14
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
1.3. JUSTIFICACIÓN	15
1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	16
1.4.1. Objetivo General	16
1.4.2. Objetivos Específicos	16
1.4.3. Preguntas de Investigación	17
II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	18
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	18
2.2. MARCO TEÓRICO	22
2.2.1. Agricultura de Precisión	22
2.2.2. Producción de Biomasa en pasturas para ganado	27
2.2.3. Métodos de estimación de biomasa.....	31
2.2.4. Cálculo de forraje.....	35
III. METODOLOGÍA	37
3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO	37
3.1.1. Enfoque	37
3.1.2. Tipo de Investigación.....	37
3.2. HIPÓTESIS	37
3.2.1. Hipótesis afirmativa.....	37
3.2.2. Hipótesis nula.....	38
3.4. MÉTODOS UTILIZADOS	41
3.4.1. Ubicación	41
3.4.2. Superficie del ensayo	41
3.4.3. Descripción y caracterización del experimento.....	41
3.4.4. Manejo de la investigación	42
3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	45

3.5.1. Instrumento de investigación.....	45
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
4.1. RESULTADOS	47
4.1.1. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks para Materia seca ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	47
4.1.2. Análisis de varianza realizado para la variable materia seca ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	47
4.1.3. Análisis de correlación de Pearson para materia seca ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	49
4.1.4. Análisis de regresión lineal entre plato forrajero y cuadrante	51
4.1.5. Análisis de regresión lineal entre plato forrajero y dron (80m).....	52
4.1.6. Análisis de regresión lineal entre plato forrajero y dron (100m).....	53
4.1.7. Análisis de regresión lineal entre plato forrajero y dron (120m).....	55
4.1.8. Análisis de comparación de tiempo requerido por método.	56
4.1.9. Análisis de comparación de costos operativos requerido por método.....	58
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60
5.1. CONCLUSIONES	60
5.2. RECOMENDACIONES	61
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
VII. ANEXOS.....	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de valores de correlación de Pearson.....	38
Tabla 2. Definición y operalización de variables.....	39
Tabla 3. Características del ensayo.....	42
Tabla 4. Descripción de técnicas y tratamientos a utilizar	42
Tabla 5. Prueba de normalidad de Shapiro Wilks para la variable materia seca ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de la semana 1 a la 8.....	47
Tabla 6. Análisis de varianza y prueba de medias de Tukey al 5% para la variable materia seca ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de la semana 1 a la 8.	48
Tabla 7. Análisis de correlación con respecto a comparación para la estimación de mezclas forrajeras de la semana 1-8.....	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del ensayo.....	41
Figura 2. Distribución de las unidades experimentales	42
Figura 3. Diagrama de dispersión de correlación plato/cuadrante	51
Figura 4. Diagrama de dispersión de correlación plato/dron(80m).....	53
Figura 5. Diagrama de dispersión de correlación plato/dron(100m)	55
Figura 6. Diagrama de dispersión de correlación plato/dron(120m).....	57
Figura 7. Diagrama de barras comparación de tiempo.....	59
Figura 8. Diagrama de barras comparación de costos operativos.....	61

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Acta de la sustentación de Predefensa del TIC.....	69
Anexo 2. Certificado del abstract por parte de idiomas.....	70
Anexo 3. Proceso experimental	71

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue comparar técnicas de agricultura de precisión y métodos convencionales en la estimación de biomasa en mezclas forrajeras, llevada a cabo en el Centro Experimental San Francisco de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi (UPEC). Se empleó un diseño con 5 tratamientos: T1 (dron a 80 m), T2 (dron a 100 m), T3 (dron a 120 m), T4 (plato forrajero) y T5 (cuadrante), con 4 repeticiones, evaluando variables como la biomasa seca ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), alturas de vuelo, costos y tiempo operativo. El análisis estadístico se realizó con el software Infostat 2020, aplicando ANOVA, prueba de normalidad de Shapiro-Wilks, prueba de Tukey al 5% y análisis de regresión lineal. Los resultados mostraron que el tratamiento T3 (dron a 120 m) presentó la mayor estimación de biomasa seca en la semana 1, con un valor promedio de $2019,89 \text{ kgMS} \cdot \text{ha}^{-1}$, mientras que el tratamiento T5 (cuadrante) alcanzó el mayor valor en la semana 4, con $1859,90 \text{ kgMS} \cdot \text{ha}^{-1}$. No se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$) entre tratamientos en las semanas 2, 3, 5, 6, 7 y 8, evidenciando homogeneidad en el comportamiento de los métodos durante gran parte del estudio. Se identificó una alta correlación entre los datos obtenidos por drones y los métodos convencionales, particularmente con el T3, con valores superiores a 0,75. En cuanto al tiempo operativo, el dron requirió solo 15 minutos por toda el área total, mientras que los tratamientos plato forrajero y cuadrante necesitaron entre 3 a 5 horas. Respecto a los costos operativos directos por hectárea, el uso de dron (T3) representó un gasto estimado de \$2.27/ha, el plato forrajero (T4) presentó un costo operativo aproximado de \$6.18/ha, y el cuadrante (T5), debido a su mayor demanda de tiempo y personal, ascendió a \$9.10/ha.

Palabras Claves: agricultura de precisión, biomasa, cuadrante, plato forrajero

ABSTRACT

The objective of this research was to compare precision agriculture techniques and conventional methods for estimating biomass in forage mixtures, conducted at the San Francisco Experimental Center of the Universidad Politécnica Estatal del Carchi (UPEC). A design with five treatments was used: T1 (drone at 80 m), T2 (drone at 100 m), T3 (drone at 120 m), T4 (forage plate), and T5 (quadrat), with four replications, evaluating variables such as dry biomass ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), flight altitudes, costs, and operational time. Statistical analysis was performed using Infostat 2020 software, applying ANOVA, the Shapiro-Wilks normality test, Tukey's test at 5%, and linear regression analysis. The results showed that treatment T3 (drone at 120 m) recorded the highest dry biomass estimate in week 1, with an average value of $2019.89 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, while treatment T5 (quadrat) reached the highest value in week 4, with $1859.90 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. No statistically significant differences ($p > 0.05$) were found between treatments in weeks 2, 3, 5, 6, 7, and 8, indicating homogeneity in the performance of the methods during most of the study. A high correlation was identified between the data obtained by drones and conventional methods, particularly with T3, with R^2 values above 0.75. Regarding operational time, the drone required only 15 minutes to cover the entire area, while the forage plate and quadrat methods took between 3 to 5 hours. In terms of direct operational costs per hectare, the use of the drone (T3) represented an estimated expense of $\$2.27/\text{ha}$, the forage plate method (T4) had an approximate cost of $\$6.18/\text{ha}$, and the quadrat method (T5), due to its higher demand for time and personnel, reached $\$9.10/\text{ha}$.

Keywords: precision agriculture, biomass, quadrat, forage plate

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los métodos más habituales y tradicionales para calcular la producción de biomasa disponible conllevan hacer uso de un tiempo significativo para detallar de manera exhaustiva y lograr obtener valores reales para trabajar (Ribarola, 2023). Debido a esto, los drones han ganado relevancia, y apunta a hacer uso de mayor tecnología y mediciones de grandes extensiones dado que facilitan la automatización de forma rápida y sencilla resumiendo todos los procesos en una sola imagen Artola y Pérez (2024), de tal manera que estas imágenes ayudan a visualizar de una manera más clara y rápida la biomasa presente, estos beneficios sitúan a los drones como una opción prometedora para vencer las limitaciones de los métodos convencionales en la estimación de biomasa que cada día se están volviendo más ineficientes (Ribalora, 2023).

La ganadería mundial se desarrolla en vastas extensiones de tierra, es decir, más de 2.500 millones de hectáreas es lo que ocupan actualmente, lo que corresponde al 50% de la superficie agrícola mundial y aproximadamente el 20% de la superficie total de la Tierra. De manera que la superficie dedicada al pastoreo y la producción de forraje es de 550 millones de hectáreas, lo que corresponde al 40% de la tierra cultivable del mundo (Confederación de Asociaciones de Frisona Española, 2023).

La principal fuente de alimento para el ganado es la vegetación verde o seca, su mayor alimentación está relacionada con el pasto lo que consumen el 20% de la biomasa mundial o alrededor de seis mil millones de toneladas de materia seca por año. Agroveter Market (2024), menciona que según las estimaciones otorgadas por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos, hasta el año 2023 la población mundial de ganado oscila los 942.630 millones de bovinos, considerándose una población muy grande que ocupa la mayor parte del suelo terrestre.

Ha nivel nacional, el Instituto Nacional de Estadística y Censos (2022), menciona que en el 2023, la superficie ocupada bajo labor agropecuario son 5,1 millones de hectáreas y para uso pastoril se registran cerca de 2,3 millones de hectáreas, la provincia del Carchi posee actualmente 27.345 hectárea de pasto cultivadas en uso y sigue en constante crecimiento cada año.

En general, el desconocimiento acerca de las especies pastoriles, junto con la utilización y estimación errónea de forrajes, son factores que minimizan el rendimiento y calidad de los requerimientos nutricionales esenciales para los animales, tanto para su conservación como para su producción. Estos aspectos conllevar a la necesidad crucial de comprender la administración, manejo y utilización eficaz de los recursos pastoriles y es esencial disponer de técnicas que posibiliten o faciliten calcular la disponibilidad de forraje (Osorio-Giraldo *et al.*, 2024).

Por lo expuesto anteriormente se propone comparar técnicas de agricultura de precisión y convencionales en la medición de biomasa en mezclas forrajeras, siendo el objetivo de este estudio, determinar que método se ajusta más a la realidad de la producción de biomasa, en Centro Experimental San Francisco.

I. EL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La producción de pastos es una actividad importante ya que forma parte de la principal alimentación de los animales herbívoros y para mantener la sostenibilidad, calidad y producción de los sistemas ganaderos, en especial en Ecuador; país donde la actividad agrícola y pecuaria está envuelta en un rubro importante a la economía familiar rural (Artola y Pérez, 2024).

Según León *et al.*, (2018), citado por Robles (2022), manifiesta que, en los últimos años, se ha observado un significativo crecimiento de las actividades agropecuarias dentro de las regiones ecuatorianas. No obstante, uno de los principales desafíos que el sistema ganadero se enfrenta es la gestión correcta de las pasturas, este problema se intensifica con el paso del tiempo, dado que las especies perennes, al cabo de dos años, dejan de proporcionar la biomasa adecuada, afectando en el aporte nutricional diario del animal.

La medición exacta de la biomasa en las mezclas de alimentación es importante para optimizar el control de los rendimientos y garantizar la sostenibilidad de los sistemas de producción. En el Centro Experimental San Francisco-UPEC, donde a menudo se usan métodos de medición convencionales, que pueden ser insignificantes, inexactos y requieren más tiempo, personal y recursos, esta restricción técnica puede influir directamente en la decisión sobre la gestión de pastos y los aditivos de alimentos de carne de res. Una evaluación inexacta de la disponibilidad de biomasa puede conducir a una falta de suministro de alimentación que afecta negativamente el valor nutricional diario del animal. Esta situación se puede transformar en alimentos bajos que afecta el aumento de peso, la producción de leche y la eficiencia reproductiva y, por lo tanto, pone en peligro la productividad general del sistema ganado.

Diferentes estudios han demostrado que la mala biomasa y la evaluación de planificación defectuosa ponen el pastoreo del ganado y eligen sus alimentos y consumen solo lo que encuentran más atractivo y rechazan lo que no quieren. Este

comportamiento selectivo combinado con baja presión de pasto puede conducir a desequilibrios en la precisión del pastoreo y alimentación insuficiente. Estas condiciones afectan directamente en la persistencia de las especies útiles, lo que conlleva a la expansión de especies menos deseadas (Correa, 2022).

Por otro lado, la agricultura de precisión ha surgido como una herramienta prometedora que podría mejorar la eficiencia y la precisión en la medición de biomasa. Sin embargo, aún existen interrogantes sobre su superioridad frente a los métodos tradicionales.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En los sistemas ganaderos del Centro Experimental San Francisco–UPEC, la estimación de biomasa forrajera mediante métodos convencionales presenta deficiencias en cuanto a precisión, rapidez y eficiencia operativa, afectando la planificación adecuada del suministro alimenticio para el ganado.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Dentro de la producción ganadera los pastizales constituyen la base primordial de alimento del ganado, su producción láctea y cárnica, depende del aprovechamiento de pasto consumido su calidad y cantidad disponible juega un papel fundamental dentro de la nutrición y productividad animal.

Comparar los métodos habituales con aquellos basados en agricultura de precisión implica evaluar cuál de ellos proporciona mejores resultados en términos de precisión, eficiencia operativa y costos asociados. Resolver esta cuestión no solo permite identificar el enfoque más adecuado para optimizar la producción de alimentos en el Centro Experimental San Francisco–UPEC, sino que también fomenta la adopción de prácticas agrícolas más sostenibles, adaptadas a la región. En última instancia, puede transformar el manejo de los cultivos forrajeros, beneficiando tanto a los productores como al medio ambiente (González y Amar, 2016).

Los drones en la actualidad forman parte de múltiples rubros dentro de ámbitos académicos, científicos y su utilización dentro del campo ayuda a reducir tiempo, cubrir mayores áreas, cubrir áreas de difícil acceso, con técnicas que aseguran una precisión de más del 66% (Todoelcampo, 2023). Con el uso de estos vehículos aéreos se garantiza establecer nuevas técnicas que sirvan para tecnificar y trabajar de una manera más sencilla y precisa para definir los días adecuados de rotación como la

cantidad de materia verde y materia seca que se ha producido en cada lote muestreado.

Las imágenes de aire se consolidan como la herramienta principal en varios sectores comerciales, especialmente destacados en la agricultura, teniendo en cuenta su amplia gama de aplicaciones, esta sinergia tecnológica no solo optimiza la calidad y la frecuencia de la supervisión, sino que también beneficia a toda la industria agrícola interesada en mejorar el monitoreo, el diagnóstico y la toma de decisiones (EOS Data Analytics, 2025). Gracias a esta información, es posible predecir la falta de alimentación, planificando más eficientemente los ciclos de pastos, optimizar la rotación de pastos y ajustar la carga de animales en función de la oferta de alimentación real. Todo esto contribuye no solo a garantizar la disponibilidad constante de biomasa, sino también para reducir las pérdidas, mejorar el bienestar animal y aumentar la eficiencia y la sostenibilidad del sistema productivo ganado (Bretas *et al.*, 2023).

La presente investigación permitió comparar técnicas de agricultura de precisión y convencionales en la medición de biomasa en mezclas forrajeras. Los resultados buscan ofrecer información valiosa que permita a los ganaderos adoptar prácticas modernas, con el fin de mejorar la medición y rendimiento de las pasturas, contribuyendo así al fortalecimiento de su economía.

1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo General

Comparar técnicas de agricultura de precisión y convencionales en la medición de biomasa en mezclas forrajeras en el Centro Experimental San Francisco-UPEC.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Analizar comparativamente la precisión, eficiencia y aplicabilidad entre métodos de estimación de biomasa en mezclas forrajeras (dron, cuadrante y plato forrajero) en las condiciones del Centro Experimental San Francisco de la UPEC.
- Determinar el tratamiento que genere mayor exactitud en la estimación de biomasa en mezclas forrajeras en el Centro Experimental San Francisco de la UPEC.

- Establecer la altura de vuelo óptima que genere una estimación precisa de la biomasa en mezclas forrajeras en las condiciones del Centro Experimental San Francisco de la UPEC.

1.4.3. Preguntas de Investigación

- ¿Cuál de los métodos evaluados proporciona la mayor exactitud en la estimación de biomasa en mezclas forrajeras bajo las condiciones del Centro Experimental San Francisco de la UPEC?
- ¿Cuál es la altura de vuelo óptima para drones que permite una estimación precisa de la biomasa en mezclas forrajeras en el Centro Experimental San Francisco de la UPEC?

II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación realizada por Grijalva (2022), cuyo objetivo fue la estimación de biomasa por medio de UAV, altura de dosel y que fueron comparados en relación al cuadrante, en un pastizal amacollado arborescente del estado de Chihuahua. Esta investigación fue realizada en la zona de Teseachi, Namiquipa, donde se localizaron y diseñaron 30 puntos al azar, cuyos métodos fueron los vuelos, cuadrante y 9 lecturas con ceptómetro y se obtuvo su promedio. Se midió la altura promedio de dosel. Se cortó todo el forraje dentro del cuadrante a ras de suelo y se empaquetó para su análisis en laboratorio. Los datos del dron se los obtuvieron mediante el software Agisoft Metashape. Los datos se analizaron con un modelo de regresión lineal simple. Se utilizó el proyecto R, versión 4.0.3. El modelo simple de regresión lineal de UAV, Roepthet y Canopy Altura mostró $R^2= 0.62$, 0.55 y 0.48 ($P < 0.01$; $P < 0.001$; $P < 0.001$).

En la investigación realizada por Ribarola (2023), cuyo objetivo fue la estimación de biomasa en pasturas con la utilización de imágenes digitales capturadas por drones. Este estudio se llevó a cabo en el Centro Regional Sur de la Facultad de Agronomía en Uruguay, donde se realizó a cabo en una pastura de segundo año situada en el lugar, se diseñó y se llevó a cabo el estudio de altura y la estimación de biomasa de las pasturas plantadas. El dron DJI Mavic 2 Proxy fue empleado para realizar vuelos de 60 y 100 metros de altura con el objetivo de crear orto mosaicos de los lotes muestreados. Respecto a la relación entre la biomasa ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) adquirida con valores de 1395 ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), mediante la CS y su ajuste por el porcentaje de suelo desnudo (SD), en comparación con la biomasa adquirida mediante 75 medidas de altura de la pastura con regla o RPM, se consiguieron ajustes de $R^2= 0,84$ y $0,92$ con regla y de $R^2= 0,57$ y $0,46$ con RPM, para alturas de vuelo. Este trabajo también permitió considerar una serie de beneficios e inconvenientes que conlleva el uso de drones en el presente, calculando en lo que se ha observado en el desarrollo de la actividad.

La investigación realizada por Delair (2018), tuvo como propósito evaluar la eficiencia económica del uso de vehículos aéreos no tripulados (UAV) de ala fija para estimar biomasa en grandes superficies agrícolas, mediante sensores multiespectrales y modelos de procesamiento fotogramétrico. El estudio se llevó a cabo en plantaciones extensivas ubicadas en Europa Occidental, donde se empleó el dron DT18 AG, con una autonomía de vuelo de 2 horas y una capacidad de cobertura de hasta 1300 hectáreas por jornada, permitiendo gestionar un total de 75 000 ha en un periodo de 50 días. Se analizaron detalladamente los costos operativos. El análisis determinó un costo operativo promedio de \$0,55 euros lo que equivale a \$1,10 USD por hectárea, notablemente inferior al requerido por métodos tradicionales de medición directa, que pueden superar los \$15 a \$25 USD/ha debido a la demanda de personal técnico, equipos en campo y logística de transporte. Asimismo, se evidenció que el uso de UAV permite reducir hasta en un 80 % las horas-hombre requeridas en campo, lo cual incrementa la eficiencia, escalabilidad y rentabilidad del monitoreo forrajero. Esta evaluación concluye que el uso de drones para la estimación de biomasa seca representa no solo una solución tecnológicamente viable, sino también una alternativa económicamente sostenible para sistemas de producción agrícola y ganadera de gran escala.

La investigación realizada por Anderson *et al.* (2020), publicada en la revista *Remote Sensing*, tuvo como objetivo analizar los tiempos operativos requeridos para la estimación de biomasa seca utilizando drones en sistemas de pastizales semiáridos del suroeste estadounidense. El estudio empleó UAVs multirrotor equipados con cámaras RGB de alta resolución, volando a alturas de 30 y 50 metros sobre el nivel del dosel. Se establecieron parcelas de 1 hectárea como unidades de muestreo, logrando cubrir cada unidad en un promedio de 25 minutos de vuelo efectivo. Posteriormente, las imágenes recolectadas fueron procesadas mediante softwares de fotogrametría y análisis geoespacial (Pix4D y QGIS), generando ortomosaicos, modelos digitales de superficie (DSM) y curvas de índice de vegetación (NDVI), lo que tomó entre 1 y 2 horas por parcela, dependiendo de la capacidad computacional. En total, el tiempo estimado para obtener resultados por hectárea fue de aproximadamente 2 horas, incluyendo planificación, vuelo, procesamiento y análisis. El estudio concluyó que, a pesar de las limitaciones en autonomía de vuelo impuestas por las baterías (25–30 minutos por carga), los UAV permiten realizar estimaciones rápidas, no destructivas y confiables de la biomasa seca en campo, ofreciendo una

solución efectiva frente a métodos convencionales que requieren jornadas completas de trabajo, personal especializado y mayor esfuerzo logístico. Esta eficiencia temporal convierte a los drones en una herramienta clave para el monitoreo forrajero en sistemas ganaderos extensivos, permitiendo tomar decisiones en menor tiempo y con mayor precisión espacial.

La investigación realizada por Diaz (2021), cuyo propósito fue evaluar la gestión y monitoreo de praderas mediante la utilización de agricultura de precisión y un software Taurus Web y platómetro. Este estudio se llevó a cabo en la localidad de Socorro, vereda San Lorenzo. La evaluación se llevó a cabo con el objetivo es el manejo correcto, gestión y estudio de praderas mediante el uso de herramientas como drones, software Taurus web y sensores de distancia. En este estudio se evaluaron los parámetros nutricionales como proteína cruda (%PC), la energía neta de lactancia (ENI Mcal/kg), la fibra neutra detergente (%FDN), y la producción por unidad de área para estudiar su impacto en la producción de biomasa y consumo de alimentos. La producción media de forraje verde se situó en 1,66 kg/m², oscilando entre 1,2 y 2,3 kg/m², siendo la asociación la que registró una mayor producción.

La investigación realizada por Bernal *et al.* (2024), cuyo propósito fue la estimación de la biomasa producida en un campo de kikuyo a través de la utilización de sensores remotos. Este estudio se llevó a cabo en una propiedad situada en el municipio de Facatati. La evaluación se llevó a cabo en un área de pastoreo de 1870 m², que se subdividió en 27 subparcelas para evaluar la biomasa y la altura sin alteraciones. Se tomaron imágenes desde el aire utilizando un dron y se escogió una imagen del satélite Sentinel 2B para análisis. Los hallazgos revelaron una evaluación significativa (0.64) entre la altura medida de manera directa. El vínculo entre el índice de vegetación normalizado y la biomasa fue mínimo ($R^2=0.13$) y no se detectó una evaluación con el RGBVI ($R^2=0.02$). La estimación entre la altura calculada a través del modelo digital y la biomasa tuvo una media ($R^2=0.42$), lo que indica que este método tiene potencial para reemplazar técnicas destructivas y ofrecer datos más exactos en términos de tiempo y espacio.

La evaluación realizada por Estrada *et al.* (2023), si los objetivos fueran la evaluación de biomasa en la Sociedad de Plantas de Andansk, utilizando imágenes multi-específicas obtenidas con sensores distantes de UAV y varios modelos de regresión lineal, soporta máquinas y bosques aleatorios. En el trabajo de campo, se adquirieron imágenes con microsensores y se recolectaron muestras de vegetación en transectas

fijas de 100 m. la evaluación se realizó mediante el procesamiento de imágenes tomadas con el dron y se procesaron en Pix 4D, ArcGIS y algoritmos en R. La biomasa se estimó utilizando modelos de Regresión Lineal Múltiple, Máquina de Soporte Vectorial y Random Forest. El modelo Random Forest mostró un coeficiente Kappa de 0.94 en el conjunto de entrenamiento y 0.901 en el de prueba ($R^2 = 0.482$). La estimación de biomasa por hectárea para la comunidad vegetal total fue de 6535.88 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ en la época de lluvias y 6588.81 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ en la seca. La diferencia entre las estimaciones de biomasa en campo y con Random Forest fue de 5.48% en la época de lluvias y 9.63% en la seca.

La investigación realizada por Muñoz (2023), cuyo objetivo fue estimación de biomasa de maíz forrajero a partir de imágenes de drones y aprendizaje profundo. La evaluación se la realizó en el campo experimental "La Xerona" perteneciente al Departamento de Irrigación de la Universidad Autónoma Chapingo. La evaluación se realizó en la estimación de biomasa verde de maíz a partir de imágenes multiespectrales de alta resolución y un modelo predictivo basado en una red neuronal artificial (RNA). Se tomaron 80 muestras georreferenciadas de áreas de medio metro cuadrado, obteniendo las alturas y el peso promedio de las plantas. Se creó un modelo predictivo con un perceptrón multicapa de dos capas ocultas (30 y 5 neuronas) con funciones de activación tangente hiperbólica y una capa de salida con una neurona y función de activación lineal. El modelo mostró un buen ajuste entre la biomasa real y la estimada, con un R^2 de 92.9% y un error absoluto medio de 0.3 kg/m^2 .

En la investigación realizada por Méndez (2021), cuyo objetivo fue evaluar diferentes métodos de determinación de biomasa de mezclas forrajeras. En este estudio se compararon dos métodos indirectos para estimar biomasa: índice de vegetación normalizada y un plato medidor artesanal con diámetros de 30 y 50 cm, adjuntando pesos de 0.5 kg y 1 kg. Se evaluaron tres grupos de pasturas: alfalfa, kikuyo y una mezcla forrajera de rai Grass y trébol blanco. Las muestras se tomaron cada 28 días durante 3 meses. El plato medidor de 50 cm mostró la mejor asociación con un R^2 medio en la correlación para alfalfa (0.52), kikuyo (0.31) y la mezcla forrajera (0.58). El R^2 más bajo se encontró en el plato de 30 cm para alfalfa (0.32) y kikuyo (0.28). En el cálculo de regresión, el NDVI tuvo el R^2 más bajo en todas las pasturas. El plato de 50 cm tuvo el coeficiente más alto en MS para alfalfa (0.27), kikuyo (0.13) y la mezcla forrajera (0.44), mientras que el NDVI presentó el coeficiente más bajo (0.18).

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Agricultura de Precisión

2.2.1.1. Concepto y evolución de la agricultura de precisión

La agricultura de precisión, es una técnica moderna que se está utilizando actualmente, cuyo fin es optimizar el uso de recursos solo cuando interfiere con dónde y cuándo era necesario, evitando prácticas generales e ineficaces (BBVA, 2024). Esta agricultura moderna ha introducido la tecnología Avant -Garde para abordar problemas como el cambio climático, la falta de trabajo y la creciente demanda de alimentos. En este escenario, aparece como una alternativa revolucionaria que utiliza GPS, sensores y análisis de datos para manejar la cultura con gran precisión. Este método facilita la optimización de las decisiones relacionadas con el riego, la fertilización y la cosecha, la reducción de desechos y la mejora del rendimiento (Habib, 2024).

De la misma manera, está tratando de mejorar la decisión de crear la administración agrícola, utilizando eficientemente recursos como fertilizantes, pesticidas, agua y tratamiento del suelo. Esto facilita la identificación de los cultivos más apropiados en cada región y, por lo tanto, optimiza la calidad y el volumen de las culturas y aumenta la rentabilidad. Además, al maximizar los recursos, ayuda a reducir el impacto de la actividad agrícola en el medio ambiente, que es un elemento esencial de la lucha contra el cambio climático. Esta tecnología son herramientas básicas para lograr obtener un medio ambiente, producción ganadera más sostenible (SafetyCulture, 2024).

2.2.1.2. Principios y tecnologías aplicadas en la agricultura de precisión

La agricultura de precisión inicia con la recopilación de datos sobre la composición del suelo, humedad, temperatura y variabilidad de los cultivos, información que se analiza mediante software especializado para identificar patrones y zonas de manejo específico. A partir del análisis, los agricultores toman decisiones estratégicas sobre riego, fertilización, siembra y control de plagas. Utilizando tecnologías avanzadas, como sistemas de riego inteligentes, drones, maquinaria autónoma y equipos de aplicación de insumos de alta precisión, mejorando así la eficiencia y sostenibilidad de la producción agrícola (Nevian, 2024).

Según Repsol (2024), menciona que la agricultura de precisión utiliza tecnologías avanzadas como sensores, drones y sistemas de información geográfica para recopilar datos detallados sobre la variabilidad espacial y temporal del suelo, clima y topografía. Esto permite adaptar las prácticas agrícolas en cada etapa del cultivo, optimizando el uso de insumos como agua, fertilizantes y pesticidas. Su objetivo es mejorar la productividad y calidad de los cultivos, reducir costos y promover una agricultura más sostenible, eficiente y rentable, al aplicar tratamientos específicos en el lugar y momento adecuados, minimizando impactos ambientales y aumentando la competitividad del sector agrícola.

2.2.1.3 Uso de Drones en Agricultura de Precisión

Según Revelo (2024), menciona que en el Ecuador, el uso de drones agrícolas se ha implementado desde 2017, con una creciente adopción en las provincias de la región Costa, donde la demanda es más alta. Esta tecnología, que ha ganado terreno en múltiples sectores como la seguridad, la medicina o el comercio, también está transformando la agricultura mediante su integración en prácticas de precisión, su presencia evidencia la digitalización progresiva del sector agropecuario en el país.

La incorporación de inteligencia artificial en drones agrícolas marca un hito en la modernización del sector agropecuario, el monitoreo preciso de cultivos y la gestión eficiente de recursos, mejorando significativamente la toma de decisiones en el campo (Stoner, 2025).

El control agrícola con drones implica el uso de vehículos aéreos no tripulados equipados con cámaras y sensores avanzados para obtener datos precisos sobre los cultivos y el terreno. Esta tecnología permite monitorear el crecimiento de las plantas, detectar plagas y enfermedades, medir la humedad del suelo y la temperatura, y generar mapas detallados del terreno. Con esta información, los agricultores pueden optimizar el uso de recursos como agua, fertilizantes y pesticidas, mejorando así la eficiencia, sostenibilidad y productividad de los cultivos (Stoner, 2025).

2.2.1.3.1. Índices Vegetativos Aplicados a la Estimación de Biomasa

Los Índices de Vegetación constituyen combinaciones matemáticas de distintas bandas espectrales captadas mediante sensores de teledetección aérea o satelital, cuyo propósito es resaltar la presencia, vigor y estado fisiológico de la cubierta vegetal. A través de operaciones algebraicas basadas en la reflectancia y absorbancia de la vegetación, es posible inferir parámetros clave como el área foliar,

la densidad de biomasa, la actividad fotosintética y el nivel de estrés hídrico (Aerial Productions, 2018).

2.2.1.3.2. Índice De Vegetación De Diferencia Normalizada (NDVI)

Es un indicador muy empleado para supervisar la vegetación, evaluando la biomasa que participa en la fotosíntesis. A pesar de su eficacia, su exactitud puede verse alterada por la luminosidad del terreno y elementos atmosféricos, aspectos que otros indicadores como SAVI pueden suavizar. Este indicador es más exacto en la etapa de crecimiento activo de las cosechas, particularmente a mediados de la temporada de producción (Sergieieva, 2025).

2.2.1.3.3. Índice De Clorofila De Borde Rojo (ReCI)

Este es un indicador que se centra en la cantidad de clorofila presente en las plantas, vinculado directamente con la cantidad de nitrógeno. Este indicador es valioso para identificar alteraciones en la actividad fotosintética, particularmente en zonas con follaje descolorado. Su uso es más eficaz durante la etapa de crecimiento vegetal, aunque no es apropiado durante el periodo de cosecha debido a su necesidad de nitrógeno (Sergieieva, 2025).

2.2.1.3.4. Índice De Diferencia Normalizada De Borde Rojo (NDRE)

Con este índice se fusiona las bandas espectrales del infrarrojo próximo (NIR) con el borde rojo, una zona del espectro perceptible. Este indicador resulta beneficioso para cultivos con elevada densidad de vegetación y se aconseja su combinación con el NDVI para conseguir una precisión superior. Principalmente se emplea cuando los cultivos han llegado a su etapa de madurez, contribuyendo a supervisar la salud de la vegetación durante ese periodo (Sergieieva, 2025).

2.2.1.3.5. Índice De Vegetación Ajustado Al Suelo Modificado (MSAVI)

El índice está creado para reducir el impacto negativo del terreno en los resultados obtenidos al monitorear cultivos. Es particularmente efectivo cuando el NDVI no proporciona mediciones confiables debido a suelos expuestos o poca vegetación. Resulta muy acertado en los inicios de la temporada de cultivo, cuando los brotes se comienzan a desarrollar, aunque el terreno aún está parcialmente cubierto (Sergieieva, 2025).

2.2.1.3.6. Índice De Vegetación De Diferencia Normalizada Verde (GNDVI)

Este índice es una modificación del NDVI que reemplaza el rojo visible por el verde visible, mejorando la precisión en la medición del contenido de clorofila. Este índice es útil para detectar cultivos envejecidos o marchitos y evaluar el contenido de nitrógeno, especialmente cuando no se dispone de un canal rojo extremo. Se usa en etapas de madurez de la vegetación y cultivos con copas densas (Sergieieva, 2025).

2.2.1.3.7. Índice De Vegetación Ajustado Al Suelo (SAVI)

El índice SAVI modifica el efecto del resplandor del suelo en el estudio de la vegetación, incluyendo un factor de ajuste para rectificar los efectos del suelo, tales como la variabilidad en el color y la humedad. Resulta beneficioso para examinar cultivos en desarrollo o zonas áridas con poca vegetación, en las que la densidad de vegetación es baja y los impactos del suelo pueden alterar los datos de seguimiento (Sergieieva, 2025).

2.2.1.3.8. Índice De Vegetación Ajustado Al Suelo Optimizado (OSAVI)

Este índice es una versión del SAVI que ofrece un ajuste más exacto para terrenos y vegetación densamente plantada, empleando un factor de ajuste estándar. Este indicador es particularmente apropiado para zonas con vegetación de baja densidad o terrenos desnudos, proporcionando una variabilidad superior en áreas con cobertura de vegetación moderada o alta, lo que lo vuelve más susceptible a las fluctuaciones del suelo (Sergieieva, 2025)

2.2.1.4. Aplicaciones de Software Ganadero (SG) en Agricultura de Precisión

El Software Ganadero SG lidera en Latinoamérica la administración de ganaderías de bovinos y búfalos. Es fácil de usar y ofrece capacitación virtual, manuales, videos y guías. Aplica a sistemas de lechería, doble propósito, cría, ceba y ganado de registro, en explotaciones de todos los tamaños. Miles de ganaderos, universidades e instituciones lo usan desde hace más de 30 años. En Colombia, lo adoptan universidades como La Salle y la Nacional. Permite simular escenarios futuros con algoritmos inteligentes y facilita la gestión de pasturas, incluyendo aforo de praderas, mejorando la productividad ganadera de técnicos, asociaciones y empresas del sector (Ganadero SG, 2023).

2.2.1.4.1. Funcionalidades de los software ganaderos en el monitoreo forrajero

El Software Ganadero SG utiliza modelos de simulación avanzados basados en algoritmos inteligentes que permiten analizar diferentes escenarios y mejorar la eficiencia de las explotaciones ganaderas. Estos modelos ayudan a identificar posibles problemas y optimizar decisiones económicas al modificar variables clave como tasa de descarte, tasa de mortalidad, días abiertos, merma de crías, días en leche, edad al primer parto, producción de leche por vaca, días en producción, edad al destete, peso al destete, aforo de praderas y costos operativos. El sistema genera proyecciones automáticas para cada variable con variaciones de $\pm 5\%$, 10%, 15% y 20%, mostrando cómo estos cambios impactan en la productividad animal, vegetal y por unidad de superficie (Ganadero SG, 2023).

2.2.1.5. Tipos de drones utilizados en la agricultura

2.2.1.5.1. DJI Agras T30

Es un dron agrícola equipado con un tanque de 30 litros y capacidad para cubrir hasta 40 hectáreas por hora. Su sistema de pulverización inteligente se ajusta automáticamente el rocío para optimizar la distribución, posee un GPS de alta precisión, evita obstáculos y tiene una autonomía de 55 minutos. Su diseño modular facilita el mantenimiento y la reparación de piezas, mientras que la cámara integrada permite el monitoreo en tiempo real de los tratamientos (APD- Profesionales de Drones, 2023).

2.2.1.5.2. SenseFly eBee Ag

Es un dron ligero y compacto diseñado para mapeo agrícola. Equipado con una cámara multiespectral de alta resolución, captura imágenes en distintas longitudes de onda para analizar la salud de los cultivos. Puede volar de manera autónoma y cubrir grandes áreas en 90 minutos. Su diseño incluye medidas de seguridad, como paracaídas de emergencia, garantizando un vuelo seguro y confiable durante las misiones (APD- Profesionales de Drones, 2023)

2.2.1.5.3. Yuneec Typhoon H Plus RTK

Es un dron profesional con sistema RTK para una precisión de centímetros. Tiene una cámara 4K con un sensor de 1 pulgada y un alcance de hasta 1.6 km. Su sistema de evitación de obstáculos y brazos plegables facilitan su transporte. Con un tiempo de vuelo de hasta 28 minutos, es ideal para monitorear cultivos, análisis de suelos y detección de plagas, además de realizar mediciones topográficas precisas (APD- Profesionales de Drones, 2023).

2.2.1.5.4. Delair UX11 Ag

Es un dron de ala fija con alta precisión y autonomía. Su cámara multiespectral permite detectar problemas en los cultivos, como estrés hídrico o enfermedades. Con una batería de larga duración, ofrece hasta 59 minutos de vuelo y cubre hasta 200 ha por misión. Su robustez y capacidad para operar en condiciones difíciles lo hacen adecuado para ambientes exigentes, mientras que su software facilita la planificación de vuelos y la creación de mapas detallados (APD- Profesionales de Drones, 2023).

2.2.1.5.5. DJI Mavic 3 Enterprise

Es un dron compacto con cámara de alta resolución y zoom óptico y térmico. Su autonomía de vuelo de hasta 31 minutos y su velocidad máxima de 72 km/h lo hacen eficiente para misiones rápidas. Además, cuenta con sensores de obstáculos omnidireccionales y sistemas de evasión para garantizar la seguridad del vuelo, lo que lo convierte en una herramienta versátil para diversas aplicaciones agrícolas y de seguridad (APD- Profesionales de Drones, 2023).

2.2.2. Producción de Biomasa en pasturas para ganado

2.2.2.1. Importancia de la biomasa en la producción ganadera

Según Castro *et al.*, (2022), los pastos son importantes dentro del sector ganadero debido a su alto valor energético y por ser el principal recurso utilizado para alimentar a los rumiantes, como bovinos, ovinos, caprinos y herbívoros en general. De igual manera es el alimento más económica, y uno de los que mejor se adapta a las necesidades fisiológicas de estos animales. La cantidad y calidad del forraje que se proporciona a los rumiantes son factores determinantes para su productividad, lo que se traduce directamente en la eficiencia y rentabilidad económica del sistema productivo ganadero.

Según Pereira (2012), citado por Méndez (2021), los pastos son proporcionados por alimentos financieros para animales, y puede ser un control de alta calidad. Las mezclas de alimentación pueden contribuir a una mejora significativa en el suelo, además del control de la hierba y la enfermedad. Basado en el área del área, son estos animales los que crean nutrientes más digeribles y de alta calidad.

2.2.2.2. Importancia de conocer la biomasa en un sistema ganadero

La estimación precisa de la biomasa forrajera en sistemas ganaderos es fundamental para la planificación eficiente del pastoreo, el ajuste de la carga animal y la optimización de la productividad del sistema. Conocer la disponibilidad de biomasa permite establecer estrategias de manejo sostenible del pastizal, evitando el sobrepastoreo y la degradación del recurso forrajero, lo que a su vez garantiza la conservación del suelo, la calidad del forraje y la estabilidad productiva del hato (Ojeda *et al.*, 2021).

Asimismo, la evaluación periódica de la biomasa permite proyectar balances forrajeros, calcular la capacidad de soporte del potrero y tomar decisiones informadas sobre suplementación y rotación de potreros (Fontagro, 2025). Diversos estudios han demostrado que el monitoreo de la biomasa es una herramienta clave para mantener sistemas ganaderos sostenibles, resilientes y económicamente rentables (Santander y García, 2022).

2.2.2.3. Principales especies utilizadas en la producción de forrajes

2.2.2.3.1. Gramíneas

Las gramíneas son comunes conocidas como pastos, su nombre proviene del término latino "pastús". Estas plantas son esenciales en la dieta de los rumiantes, ya que constituyen entre el 60% y 70% de su alimentación. Su alto contenido de fibra es indispensable para el correcto funcionamiento del rumen, el órgano clave en la digestión de estos animales. Una de las características más importantes de las gramíneas, es su alta capacidad de producir biomasa de alta calidad utilizando agua y energía solar, lo que las convierte en un recurso fundamental para la alimentación y la sostenibilidad (Golińska *et al.*, 2023).

2.2.2.3.2. Leguminosas

Según (Robles, 2022), las leguminosas son consideradas plantas angiospermas que poseen una raíz rotatoria con raíces secundarias y terciarias. Las cuales se distinguen

por poseer nódulos con bacterias fijadoras de nitrógeno pertenecientes al género *Rhizobium*.

Las leguminosas poseen la característica de tener altos niveles de proteína que oscilan entre el 14 y 32% en sus hojas y más del 30% en sus semillas. Además, pueden mantener estos elevados niveles de proteína incluso durante la estación seca. Además, poseen una alta digestibilidad (principalmente aprovechada por el animal), lo que resulta en que sus contenidos energéticos se asemejen a los de una gramínea (Vasquez, 2022).

2.2.2.3.3. Descripción del pasto Kikuyo

Según Martínez (2020), citado por Chapi (2021), menciona que es una gramínea que muestra unas diminutas raíces, retoños y ramas que contribuyen a la creación de un césped compacto. Es una planta de baja calidad nutricional, sin embargo, es muy abundante en proteína. Posee un porcentaje de proteínas de 11 a 22 % y una digestibilidad elevada de 65 a 80 %.

El kikuyo es un pasto altamente invasivo, tanto que en algunas áreas se considera una maleza. Sin embargo, también se utiliza como césped en algunos jardines por su alta capacidad de propagación, cubriendo rápidamente toda el área donde se ha plantado. Lo hace mediante estolones o rizomas, que se extienden tanto sobre la superficie como bajo tierra, lo que le permite generar una mayor (Agronet, 2022).

2.2.2.3.4. Potencial de producción del cultivo de Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*)

La cantidad de forraje producido por el pasto Ray Grass es variable, influenciada por factores como la siembra, el tipo de suelo y las condiciones climáticas. Sin embargo, mediante una gestión adecuada, prácticas agronómicas eficientes y un programa de fertilización y riego bien planificado, se pueden alcanzar rendimientos de 20 a 30 toneladas anuales de heno de alta calidad (Gonzales, 2020).

2.2.2.3.5. Descripción e importancia Trébol Blanco (*Trifolium repens*)

El trébol blanco generalmente es una especie de planta de gran forraje se extiende por el suelo y forma grupos densos. A pesar de que muchas veces se la considera una planta invasiva, sobre todo en los jardines, también tiene muchos beneficios para la agricultura y alimentación animal. Se usa como abono verde, fertilizante y para cubrir el suelo en huertos y cultivos, lo que ayuda a que otras plantas crezcan mejor. Sus raíces profundas y densas previenen que el suelo se apriete y también reducen la

erosión, por lo que es una opción muy buena para cubrir el suelo en terrenos de cultivo y jardines (Beaulieu, 2024).

2.2.2.3.6. Potencial de producción del trébol blanco (*Trifolium repens*)

La producción de forraje de esta planta leguminosa puede variar en función de las condiciones del terreno, el clima y las técnicas de cultivo, logrando producir entre 8 y 10 toneladas de forraje verde por hectárea. Es crucial tener en cuenta que, al ser cultivado en conjunto con gramíneas, el trébol no debe exceder el 30% de la mezcla, dado que un porcentaje superior podría alterar el equilibrio nutricional del pasto (Martínez, 2020).

2.2.2.3.7. Descripción e importancia Llantén (*Plantago major*)

El llantén y la producción del mismo se destaca por su crecimiento rápido y facilidad de manejo, lo que lo convierte en una opción excelente para el pastoreo. Su alta palatabilidad animal lo hace muy atractivo para el ganado, contribuyendo a reducir problemas digestivos como el timpanismo y diversas afecciones del rumen. Posee un sistema de raíces fuerte y profundo, lo que le permite desarrollarse óptimamente en condiciones adversas, como suelos poco fértiles y zonas áridas (Agrizon, 2025).

2.2.2.3.8. Potencial de producción del Llantén (*Plantago major*)

Existen ciertas investigaciones dentro del ámbito agrícola que han demostrado su destacada capacidad de producción frente a otro tipo de especies pastoriles. Demostrando que el llantén tiene la capacidad de producir hasta 20.000 kg*ha⁻¹ anuales, estableciéndolo como una opción competitiva y económica de alimentación animal (Hernández, 2022).

2.2.2.3.9. Descripción e importancia del Ray Grass (*Lolium perenne*)

El pasto ray Grass es una planta forrajera que forma grupos densos y se adapta a diversos ambientes. En condiciones óptimas, puede alcanzar hasta un metro de altura, ofreciendo abundante alimento para el ganado. Su valor nutricional es notable, con altos niveles de proteína (19-22 %) y una digestibilidad del 75-80 %, lo que maximiza la absorción de nutrientes y mejora la producción animal. Además, su sistema radicular beneficia la salud del suelo, y su rápida regeneración y adaptabilidad climática lo convierten en una opción sostenible y eficiente para la ganadería (Contextoganadero, 2023).

2.2.2.3.10. Potencial de producción de Ray grass (*Lolium perenne*)

El pasto ray grass suele generar menos forraje en los primeros cortes, en un manejo adecuado puede producir entre 16 y 20 toneladas de materia seca por hectárea anuales, lo que lo hace una alternativa efectiva para la nutrición del ganado, particularmente en sistemas de producción intensiva (Gonzales, 2020).

2.2.3. Métodos de estimación de biomasa

2.2.3.1. Métodos indirectos

El método de aforo indirecto consiste en estimar la biomasa existente sin necesidad de cortar el pasto, lo que lo convierte en un proceso más práctica siendo más veloz y menos dañino. Este procedimiento emplea instrumentos como pasturómetros, reglas graduadas, platómetro o en la actualidad el uso de tecnología de imágenes satelitales y drones está en aumento para la evaluación de extensas zonas de pastoreo. A pesar de que el método indirecto pueda ser menos exacto que el directo, resulta perfecto para supervisar variaciones a lo largo del tiempo y para valorar zonas específicas de difícil acceso.

2.2.3.2. Aforo del potrero

Según la RAE (2022), aforar se refiere a la acción de evaluar, medir o calcular la cantidad producido de un recurso, en este caso, la cantidad de forraje disponible en un área destinada al uso ganadero.

Por otro lado, Moya (2024), define que es la cantidad de pasto o forraje disponible en un terreno de pastoreo para diversas especies ganaderas. Es esencial en el pastoreo rotacional para calcular la carga animal óptima, permitiendo un manejo eficiente con tiempos adecuados asegurando la sostenibilidad del pasto. Un aforo incorrecto puede llevar a sobrepastoreo o desperdicio de forraje, afectando la calidad nutricional del pasto y la rentabilidad del sistema.

Cabe señalar que la carga de estos animales se puede expresar en UGM/HA o UGG/HA (unidades de carne de res más grandes o grandes unidades de carne en HA), y que las reformas son solo una pequeña muestra del área, cuál es el área (Martínez, 2020).

2.2.3.3. Método por estimación con Drones

El método por drones consiste en estimar los residuos o cantidad de biomasa existente, representa un método innovador y eficaz que ha revolucionado la agricultura, la silvicultura. Estos drones están equipados con cámaras de espectrales e imágenes aéreas de gran resolución que son procesadas luego por medio algoritmos especializados. Esta herramienta facilita la obtención de datos exactos sobre la biomasa residual en grandes extensiones de forma veloz y a un costo reducido en comparación con los procedimientos convencionales y para zonas de difícil acceso. Gracias a su flexibilidad y precisión, esta tecnología facilita la medición eficiente de recursos naturales, promoviendo una gestión ambiental (Dronesec, 2024).

2.2.3.4. Método de estimación con plato forrajera

Moreno *et al.*, (2019), menciona que el plato forraje o platómetro es un dispositivo estimador de biomasa que permite realizar mediciones de pasto de manera regular, midiendo la altura y biomasa comprimida cuyo fin es estimar el forraje disponible en kilogramos de materia seca en distintos tipos de pasturas. El plato está construido por una varilla y un plato de 36 cm de diámetro, un sistema de cliqueador y un contador manual. Su medición se basa en anotar el valor inicial, los números de clics y el valor final para luego por medio de una fórmula calcular y estimar los valores en ($\text{kgMS} \cdot \text{ha}^{-1}$). Actualmente este dispositivo y su sucesor el pasturómetro digital son dispositivos que son muy utilizados por su rapidez, precisión y mejor costo en utilización.

2.2.3.5. Método de estimación visual

Silva (2023), menciona que el método visual consiste en entrenar el ojo para estimar la cantidad de biomasa disponible en un lote determinado solamente con la observación directa. Para lograr una estimación precisa, primero es necesario recolectar muestras de forraje de áreas con un tamaño conocido y compararlas con las observaciones visuales. Este proceso permite calibrar las estimaciones, asegurando que reflejan la realidad del terreno. Uno de los factores clave en esta técnica es la variabilidad en la altura y densidad de la altura vegetal. La cantidad de forraje disponible no es uniforme en toda la pastura; Hay zonas con mayor acumulación de biomasa y otras con menor cobertura. En cambio, en las zonas con un dosel denso y bien desarrollado, la estimación visual de forraje será mayor y de mejor.

2.2.3.6. Método de estimación directa

El método directo para medir la biomasa forrajera disponible es el más exacto. Es un proceso que requiere necesariamente la recolección de muestras físicas para evaluar la biomasa forrajera existente en un área determinada. Este procedimiento se lo emplea mucho como el estándar de referencia por su elevada exactitud, puesto que se fundamenta en la recolección y pesaje directo del forraje. No obstante, resulta complicado, laborioso y puede resultar dañino, dado que implica cortar el pasto para su medición. A pesar de estas restricciones, el método directo ofrece información confiable acerca del volumen de forraje disponible, lo cual resulta crucial para una administración eficaz de las pasturas y la organización de la dieta del ganado.

2.2.3.7. Método del cuadrante

El método de cuadrante es una técnica muy utilizada en aforo de pasturas. Se necesita un cuadrante fabricado con tubería de PVC, alambre o madera. Un cuadrante de forma cuadrada construido con una dimensión de 0,25 m²; 0,50 m² y 1 m². Se debe elegir un área representativa del pastizal, colocar el cuadrante y recolectar el forraje dentro de él, almacenándolo en una bolsa de papel. Este procedimiento debe repetirse varias veces siguiendo un patrón en zigzag para minimizar sesgos. Posteriormente, las muestras se secan en un microondas exclusivo para este propósito (Silva, 2023).

2.2.3.8. Jaulas de exclusión

El método de jaulas de exclusión se basa en la utilización de jaulas con el fin de medir el crecimiento del pasto tienen una superficie efectiva de 1 m² y dimensiones de 2,0 m de largo, 0,5 m de ancho y 0,5 m de alto respectivamente. Se construyen con materiales de hierro y mallas. Al colocar la jaula en el sitio de evaluación, se corta y recolecta el forraje de un área equivalente (1 m²) fuera de la jaula, que se pesa en verde y se envía al laboratorio para analizar su contenido de materia seca. Las mediciones pueden realizarse cada 15 días o cada 30 días, permitiendo evaluar el crecimiento mensual del pastizal (Demagnet, 2020).

2.2.3.9. Limitaciones de los métodos convencionales

Tradicionalmente, el aforo de biomasa se ha realizado mediante métodos manuales como el cuadrante de corte y el plato forrajero, considerados como técnicas

confiables y científicamente validadas (Vallejo et al., 2017). No obstante, estos métodos presentan altos requerimientos de tiempo y mano de obra. Por ejemplo, un solo operario puede tardar entre 3 a 5 horas en muestrear una hectárea utilizando cuadrantes, dependiendo de la topografía, densidad del forraje y condiciones climáticas. Esta duración puede duplicarse si se requiere realizar múltiples repeticiones o evaluar parcelas en diferentes puntos geográficos.

Además del tiempo, estos métodos implican costos operativos asociados a desplazamientos, desgaste de herramientas, pago de jornales, y en algunos casos, pérdida de forraje por ser un método destructivo. Esto representa una limitación importante en explotaciones de mayor escala o en sistemas que requieren evaluaciones frecuentes para fines de planificación o investigación.

2.2.3.10. Ventajas temporales del uso de drones

El uso de vehículos aéreos no tripulados (UAVs) para la estimación de biomasa ha permitido reducir significativamente los tiempos requeridos para este tipo de medición. Con drones equipados con cámaras RGB o sensores multiespectrales, es posible cubrir superficies de una hectárea en menos de 20 minutos, incluyendo el tiempo de vuelo y la toma de datos. Esto representa una reducción de hasta un 90% del tiempo si se compara con métodos manuales.

Además, los drones permiten la automatización de rutas de vuelo y la recolección sistemática de datos, lo que hace posible repetir mediciones en distintas fechas con alta precisión temporal, facilitando el monitoreo continuo de parcelas sin alterar el cultivo.

2.2.3.11. Análisis económico del aforo con drones

Desde una perspectiva económica, aunque la inversión inicial en drones, baterías, sensores y software especializado puede representar un desembolso considerable, los costos operativos por hectárea disminuyen sustancialmente con el tiempo. Estudios como los de Delair Technologies (2021) y Peña *et al.*, (2020), muestran que el costo por hectárea de muestreo con drones puede ser entre 40% y 60% menor que el de los métodos tradicionales cuando se considera el costo-hora por operario, la logística, y la cantidad de terreno evaluado.

Asimismo, la vida útil del equipo y la posibilidad de reutilizar el dron en diversas tareas (aforo, detección de plagas, mapas NDVI, etc.) incrementa su rentabilidad a

mediano plazo. A esto se suma la reducción de gastos indirectos como transporte, alimentación y movilización de personal, que son significativos en trabajos de campo prolongados.

2.2.4. Cálculo de forraje

La estimación de la biomasa forrajera es una práctica fundamental en sistemas ganaderos, ya que proporciona información precisa sobre la disponibilidad de forraje por unidad de superficie, permitiendo ajustar la carga animal, planificar los períodos de pastoreo y establecer estrategias de manejo sostenible. Según Fontagro (2025), el cálculo de la biomasa permite determinar la capacidad de carga del potrero, evitando el sobrepastoreo y la degradación del recurso forrajero.

2.2.4.1. Cálculo con cuadrante

La biomasa puede calcularse mediante el método directo de corte y pesaje o mediante métodos indirectos, aplicando fórmulas estandarizadas como:

$$\text{Biomasa (kg MS/ha)} = \text{Peso verde promedio (kg/m}^2\text{)} \times \% \text{MS} \times 10.000$$

Donde:

- Peso verde promedio (kg/m²): corresponde al peso fresco del forraje dentro del cuadrante.
- % MS: es el porcentaje de materia seca obtenido mediante secado.
- 10.000: es el factor de conversión de metros cuadrados a hectárea.

Asimismo, para establecer la capacidad de carga del potrero, se puede aplicar la fórmula propuesta por (Ojeda et al., 2021):

$$\text{Biomasa (kg MS/ha)} = \frac{\text{Biomasa disponible (kg MS/ha)} \times \text{Coeficiente de utilización (\%)}}{\text{Requerimiento diario por UA (kgMS)}}$$

Estas fórmulas permiten proyectar balances forrajeros más precisos, optimizar la eficiencia del pastoreo y asegurar la sostenibilidad del sistema productivo (Santander y García, 2022).

2.2.4.2. Cálculo con dron y software Ganadero SG.

La estimación de biomasa mediante herramientas de agricultura de precisión, como los drones equipados con cámaras RGB, ha demostrado ser una alternativa eficiente, rápida y no destructiva para la evaluación de la producción forrajera en sistemas ganaderos. Con el uso de un dron realizando vuelos programados se obtiene

imágenes aéreas georreferenciadas de alta resolución, el software Ganaderos SG, el cual permite estimar la biomasa en kilogramos por hectárea, a partir del análisis fotogramétrico y modelos de superficie generados automáticamente. Según el protocolo del software, el cálculo de biomasa se realiza aplicando la fórmula adaptada por Ganaderos SG:

$$\text{Biomasa (kg MS/ha)} = \text{índice volumetrico (m}^3\text{/ha)} \times \text{Densidad forrajera estimada (kg MS/m}^3\text{)}$$

Donde el índice volumétrico es obtenido por el software a partir del modelado digital del dosel forrajero, mientras que la densidad forrajera es ajustada según calibraciones de campo previamente establecidas. Este método permite obtener datos precisos y homogéneos a nivel de potrero completo, facilitando el monitoreo en tiempo real de la oferta forrajera, optimizando la planificación de pastoreo y reduciendo tiempos operativos en campo (Ganadero SG, 2023).

III. METODOLOGÍA

3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO

3.1.1. Enfoque

En la presente investigación se utilizó el enfoque cuantitativo, debido a que se empleó la recolección y el análisis de imágenes RGB con ayuda de un dron en campo, estas imágenes permitieron hacer una comparativa del rendimiento, efectividad, costos y tiempo operativo, cuyos datos fueron analizados con la ayuda de un software de procesamiento de imágenes (Ganadero SG, 2023), esto permitió obtener información numérica, que, posteriormente, se analizó estadísticamente cada variable establecida, cuya finalidad permitió tomar decisiones o refutar la hipótesis planteada.

3.1.2. Tipo de Investigación

La investigación fue de tipo experimental, en donde se desarrolló a campo abierto en la plataforma lechera del Centro Experimental, compuesta por 23 potreros dispuestos de manera consecutiva. Para el estudio se seleccionaron 20 potreros, elegidos de acuerdo con el momento óptimo de corte, definido cuando el pasto alcanzaba entre 2,5 y 3 hojas de madurez, de esta forma con vuelos programados del dron se capturo imágenes a diferentes alturas para ser procesadas por el software Ganaderos SG y la recolección de muestras con métodos tradicionales, con el objetivo de evaluar diferencias entre cada método de cálculo de aforo mediante la implementación de la pruebas estadísticas.

3.2. HIPÓTESIS

3.2.1. Hipótesis afirmativa.

La estimación de biomasa en mezclas forrajeras mediante agricultura de precisión, con el uso de drones, permite obtener valores más precisos, eficientes y operativamente viables en comparación con los métodos convencionales en las condiciones del Centro Experimental San Francisco-UPEC.

3.2.2. Hipótesis nula.

La estimación de biomasa en mezclas forrajeras mediante agricultura de precisión, con el uso de drones, **no** permite obtener valores más precisos, eficientes y operativamente viables en comparación con los métodos convencionales en las condiciones del Centro Experimental San Francisco-UPEC.

3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Tabla 2. Definición y operalización de variables

	DIMENSION	INDICADORES	TECNICAS	INSTRUMENTOS
VD Cantidad de biomasa calculada	Cantidad de biomasa verde calculada	Cantidad total de biomasa verde calculada en las parcelas evaluadas determinada mediante tres métodos, aforo indirecto con plato forrajero, captura, análisis de imágenes aéreas con dron y método directo de corte utilizando cuadrante forrajero durante el periodo experimental semanas 1 a 8.	-Observación	-Cuadrante forrajero de 0,25 m ² -Plato forrajero -Dron Mavic 3E -Libreta de campo -Esfero -balanza digital -bolsas plásticas - Oz de corte
	Rendimiento de materia seca calculada	Cantidad de materia seca obtenida a partir del procesamiento de la biomasa verde recolectada, mediante determinación gravimétrica después del secado en horno microondas, finalizando con el procesamiento de imágenes mediante software especializado de interpretación de datos para estimar la cantidad.	-Observación	-Software GANADEROS SG -Balanza digital -Horno de secado -Libreta de campo -Esferos
VI Técnicas de agricultura de precisión y convencionales	Dron	Evaluación de la estimación de biomasa forrajera, mediante vuelos programados a alturas de 80, 100 y 120 metros, con captura de imágenes del dron procesadas posteriormente con software Ganaderos SG para cálculo de biomasa verde y materia seca.	-Observación	-Dron Mavic DJI Enterprise -Libreta de campo -Esferos
	Plato	Estimación de biomasa mediante aforo con plato forrajero, registros manuales en campo, pesaje y cálculo del rendimiento por hectárea.	-Observación	-Observación -Libreta de campo -Esfero -Plato forrajero
	Cuadrante	Estimación de biomasa mediante corte manual de la vegetación dentro de cuadrante, pesado de la muestra y cálculo del rendimiento estimado a hectárea.	-Observación	-Cuadrante forrajero de 0,25 m ² -Balanza digital -Libreta de campo

Tiempo estimado por técnica	Tiempo necesario para realizar el muestreo completo de 1 hectáreas según el método aplicado: -Dron, Plato forrajero y Cuadrante	-Observación	-Esfero -Oz de corte -Libreta de campo -Cronómetro digital o reloj de campo -Registro en hojas de cálculo (Excel) -Ficha de cronograma de actividades por técnica
Costos operativos por técnica	Estimación de los costos de ejecución por cada técnica, considerando: -Personal requerido (horas-hombre). -Equipos empleados y su depreciación. -Insumos utilizados en campo.	-Observación	-Hojas de cálculo para análisis de costos -Formato de registro de personal y recursos -Tarifas de mano de obra - Registro de mantenimiento de equipos (dron, balanzas)

Tabla 3. Características del ensayo

DISEÑO EXPERIMENTAL	
Características	Descripción
Tratamientos	5
Repeticiones	4
Número total de unidades experimentales.	20
Área de cada unidad experimental	4800 m ²
Área total del experimento.	11 ha

3.4.3.1. Unidad Experimental



Figura 2. Distribución de las unidades experimentales

3.4.3.2. Tratamientos

Tabla 4. Descripción de técnicas y tratamientos a utilizar

TRATAMIENTO.	DESCRIPCIÓN.	FRECUENCIA.
T1.	Vuelo DJI Mavic 3 (80 m)	7 días
T2.	Vuelo DJI Mavic 3 (100 m)	7 días
T3.	Vuelo DJI Mavic 3 (120 m)	7 días
T4.	(Testigo) Plato forrajero	7 días
T5.	Cuadrante	7 días

3.4.4. Manejo de la investigación

3.4.4.1. Preparación del terreno

Después que los animales concluyeron el pastoreo, se utilizó la niveladora para uniformar los residuos de pastos, el potrero paso a un período de descanso que permitió el rebrote y la recuperación fisiológica de las plantas. Aproximadamente

entre 5 y 7 días después de la nivelación, cuando se observó el inicio del rebrote activo, se aplicó una fertilización de nitrógeno establecida como manejo permanente de la plataforma de ordeño ($50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$).

3.4.4.2. Delimitación de la parcela

Para la presente investigación no fue necesario realizar una delimitación física adicional de las parcelas, ya que los potreros donde se llevó a cabo el estudio se encuentran previamente establecidos y medidos por la administración del Centro Experimental San Francisco de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi. Las dimensiones, distribución y organización del área experimental fueron respetadas conforme al sistema de manejo interno.

3.4.4.3. Toma de datos

Se realizó una sola frecuencia de toma de datos cada 7 días con vuelos programados a diferentes alturas (80,100,120m), aforo de todos los lotes mediante el uso de plato forrajero excluyendo los lotes los que se encuentran en pastoreo y el corte mediante el cuadrante forrajero solamente en los 5 potreros cercanos a pastoreo.

3.4.4.4. Método plato forrajero

La estimación de la biomasa en los potreros mediante metodología indirecta se llevó a cabo utilizando el plato forrajero, herramienta que permite calcular la disponibilidad de forraje en base a la altura comprimida del dosel vegetal. Para ello, en cada unidad experimental se realizaron lecturas colocando el plato en posición vertical y permitiendo que descendiera de manera controlada hasta hacer contacto con la superficie superior del forraje. Las mediciones se las realizaron entre 50 y 60 por potrero, se distribuyeron aleatoriamente siguiendo un recorrido en zigzag, registrando la altura comprimida en centímetros mediante la escala graduada incorporada en el instrumento. Los datos recolectados fueron promediados para cada potrero, y posteriormente, aplicando la fórmula correspondiente al método indirecto de estimación de biomasa: $\text{Producción (kg MS/ha)} = \text{altura promedio (cm)} \times \text{factor de conversión} / \text{número de clics}$, ajustado según las características de la pastura presente en el área de estudio.

3.4.4.5. Método del cuadrante

Para determinar la biomasa se implementó el método directo mediante el uso del cuadrante, procedimiento que consistió en el lanzamiento aleatoria de un marco de

0,25 m² (0,50 m x 0,50 m) en los potreros seleccionadas elegidos de acuerdo al día óptimo de corte cuando sus hojas tenían entre 2,5 a 3 hojas de madurez, obteniendo de cuatro a cinco muestras contenidas dentro del cuadrante en cada unidad experimental. Una vez delimitada el área, se realizó el corte al ras del forraje contenido dentro del cuadrante, recolectando el material vegetal en fundas plásticas previamente identificadas para su pesaje en verde. Posteriormente, se calculó el promedio del peso por metro cuadrado y se estimó a escala de una hectárea utilizando la fórmula: peso promedio (kg/m²) x 10.000 = producción de biomasa (kg*ha⁻¹).

3.4.4.6. Método de dron

Para determinar la mediante técnicas de agricultura de precisión, se utilizó el método indirecto mediante la utilización de un dron DJI Mavic 3E. El procedimiento consistió en programar y sobrevolar sobre cada unidad experimental, a alturas previamente definidas de 80, 100 y 120 metros. Durante cada vuelo, el dron realizó capturas fotográficas de alta resolución, abarcando la totalidad de cada parcela, asegurando la cobertura completa y homogénea del área evaluada. Las imágenes obtenidas fueron almacenadas en formato JPG con georreferenciación incorporada. Posteriormente, se procesaron en el software Ganaderos SG, mediante el cual se calcularon estimaciones indirectas de biomasa por hectárea.

3.4.4.7. Variables evaluadas

3.4.4.7.1. Materia seca (kg*ha⁻¹)

La materia seca se determinó a partir del peso de la biomasa verde recolectada en campo, la cual fue secada mediante horno microondas hasta alcanzar peso constante. Las muestras fueron tomadas cada 7 días durante un período de ocho semanas, en potreros seleccionados en función de su estado fenológico. El resultado final se expresó en kilogramos por hectárea (kg*ha⁻¹), utilizando el factor de conversión correspondiente según la superficie muestreada.

3.4.4.7.2. Altura de vuelo del dron (m)

La altura de vuelo del dron se estableció a tres niveles 80 m, 100 m y 120 m sobre la densidad forrajera. Cada altura correspondió a un tratamiento experimental. Las imágenes fueron capturadas semanalmente con un dron DJI Mavic 3 Enterprise, siguiendo un plan de vuelo programado que garantizó cobertura completa de las

parcelas. La altitud de operación y captura de imágenes fue registrada automáticamente por el software de navegación del equipo.

3.4.4.7.3. Tiempo de ejecución por técnica (minutos/hectárea)

El tiempo operativo se registró para cada técnica (dron, plato forrajero y cuadrante), midiendo desde el inicio hasta la finalización del muestreo de biomasa en cada jornada de campo. Los registros se llevaron a cabo con un cronómetro digital, documentando el tiempo empleado en cada parcela y luego estandarizado por hectárea. Esta variable fue evaluada una vez por semana, durante las ocho semanas del periodo experimental.

3.4.4.7.4. Costo operativo por técnica (USD/hectárea)

Los costos de ejecución se calcularon considerando el número de operarios, horas de trabajo, depreciación de equipos, consumo energético e insumos empleados por técnica. Se utilizó una hoja de cálculo para consolidar los valores por hectárea. La información se recopiló al finalizar cada jornada de muestreo, y se realizó un promedio por método para su comparación.

3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Una vez concluida la fase de recolección de datos en campo, la información fue organizada y procesada utilizando el software estadístico Infostat, versión 2020. Esta herramienta permitió aplicar pruebas estadísticas como el análisis de varianza (ANOVA), la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks y la prueba de comparación de medias de Tukey al 5% de probabilidad, con el objetivo de identificar diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. Además, se empleó un análisis de regresión lineal para determinar el tratamiento que mejor se ajusta al modelo predictivo propuesto, minimizando el margen de error. Este procedimiento facilitó una interpretación objetiva de los resultados y respaldó estadísticamente la validación de la hipótesis planteada.

3.5.1. Instrumento de investigación

Para la recolección de datos se emplearon instrumentos y metodologías adecuadas, que permitieron obtener registros precisos de las variables consideradas en el presente estudio. Estas herramientas facilitaron la recopilación sistemática de información, relacionada con las técnicas de medición de biomasa aplicadas en las mezclas forrajeras, permitiendo así disponer de datos confiables y

objetivos. Posteriormente, los resultados obtenidos fueron sometidos a análisis comparativo, con el propósito de evaluar la efectividad y precisión de los tratamientos evaluados, y determinar su impacto en el manejo agronómico del potrero en condiciones de campo.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

En las siguientes secciones se presentan los resultados obtenidos para cada una de las variables consideradas en el estudio.

4.1.1. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks para Materia seca ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)

Se realizó la prueba de Shapiro-Wilks para evaluar la normalidad de los datos en cada semana evaluada, con relación a la materia seca. En la tabla 5 se observa que, en general, los datos se ajustan a una distribución normal, con valores de $p > 0.05$. Esto sugiere que se puede asumir la normalidad de los datos y por lo tanto, utilizar pruebas estadísticas paramétricas (ANAVAR) en los análisis posteriores. Esto significa que no permite rechazar la hipótesis nula de que los datos provienen de una distribución normal. En otras palabras, no hay evidencia estadísticamente significativa para afirmar que los datos se desvíen de una distribución normal.

Tabla 5. Prueba de normalidad de Shapiro Wilks para la variable materia seca ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de la semana 1 a la 8.

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
SEMANA 1	20	1806,07	593,80	0,91	0,1578
SEMANA 2	20	1772,13	548,63	0,89	0,0730
SEMANA 3	20	1847,33	228,07	0,93	0,2880
SEMANA 4	20	1655,04	280,44	0,91	0,1309
SEMANA 5	20	1946,36	257,13	0,93	0,3840
SEMANA 6	20	2146,53	299,39	0,95	0,6001
SEMANA 7	20	1768,75	166,98	0,91	0,1920
SEMANA 8	20	1762,83	238,85	0,93	0,3968

Leyenda: Variable= Variable evaluada; N=Número de observaciones; Media=promedio de los datos; D.E.= desviación estándar; W*= Shapiro-Wilk; P (unilateral D) = Valor de probabilidad (p-valor) para la prueba de normalidad.

4.1.2. Análisis de varianza realizado para la variable materia seca ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)

En el análisis de varianza realizado para la variable materia seca ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), Tabla 6, se evidenció que en las semanas 2, 3, 5, 6, 7 y 8 no se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) entre los tratamientos evaluados, lo que indica un comportamiento homogéneo del cálculo de la producción de biomasa en dichas semanas. Los coeficientes de variación (CV) reportados en estas semanas oscilaron

entre 6,57 % y 11,94 %, son considerados bajos, indicando una alta precisión experimental y confiabilidad en las mediciones realizadas.

En contraste, durante la semana 1 se observaron diferencias estadísticas significativas ($p = 0,0495$), destacándose el tratamiento T3, que registró la mayor acumulación de biomasa con un valor calculado de $2019,89 \text{ kg*ha}^{-1}$. Este resultado sugiere que T3 tuvo un desempeño inicial superior en cuanto a producción de materia seca, posiblemente relacionado con condiciones específicas de adaptación o manejo.

Asimismo, en la semana 4 se detectaron diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p = 0,0082$), con un CV de 10,04 %. En este caso, el tratamiento T5 alcanzó el mayor valor de materia seca, con una producción de $1859,90 \text{ kg*ha}^{-1}$, indicando un comportamiento diferencial favorable en ese periodo de evaluación.

Tabla 6. Análisis de varianza y prueba de Tukey al 5% para la variable materia seca (kg*ha^{-1}) de la semana 1 a la 8.

Tratamiento	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
	Media							
T1	1514,54 B	1676,94 A	1698,35 A	1476,28AB	1818,86 A	1932,75 A	1704,14 A	1572,35 A
T2	1866,05 AB	1825,98 A	1932,98 A	1369,10 B	1870,48 A	2379,35 A	1869,69 A	1828,50 A
T3	2019,89 A	1810,98 A	1852,07 A	1817,38 A	1969,91 A	2094,35 A	1875,26 A	1824,01 A
T4	1822,46 AB	1736,48 A	1885,94 A	1752,57AB	2030,10 A	2147,30 A	1698,19 A	1824,01 A
T5	1807,41 AB	1810,29 A	1867,34 A	1859,90 A	2042,44 A	2178,93 A	1696,49 A	1789,53 A
p-valor	0,0495**	0,5974ns	0,4865ns	0,0082**	0,1106ns	0,2432ns	0,0866ns	0,0544ns
CV(%)	11,33	8,49	10,04	11,06	6,57	11,94	6,60	6,87

Leyenda: Media=promedio de los datos; CV= Coeficiente de Variación; P-valor= Grado de significancia; ns= No significancia; *=Significativo; **=Altamente significativo.

Los resultados obtenidos en la semana 1 se evidencio diferencias estadísticamente significativas con $p = 0,0495$ y el tratamiento T3 dron a 120 metros de altura presentó la mayor estimación de materia seca con $2019,89 \text{ kg*ha}^{-1}$ en el cálculo, lo cual sugiere que la altura de vuelo a 120 metros proporcionó una cobertura más amplia y una resolución de imagen adecuada para detectar el volumen de biomasa en las etapas fenológicas iniciales. Este hallazgo concuerda con lo señalado por Ribarola (2023), quien destaca que vuelos a mayor altitud permiten obtener ortomosaicos de alta calidad, facilitando el análisis de grandes extensiones forrajeras con precisión aceptable. Además, el coeficiente de variación de esta semana fue de $CV = 11,33\%$, el cual se encuentra dentro de los rangos aceptables, lo que refuerza la confiabilidad del dato obtenido en esta fase.

Por otro lado, la menor capacidad del dron para detectar cambios estructurales en fases fenológicas más avanzadas, como se evidenció en la semana 4 con $p=0,0082$

y un coeficiente de variación de 11,06%, lo que coincide con lo reportado por Bernal *et al.*, (2024), quien señala que la precisión de los sensores remotos disminuye al aumentar la complejidad estructural y densidad vegetal, particularmente cuando la cobertura es heterogénea o presenta múltiples especies.

En términos generales, aunque la mayoría de semanas no presentaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p > 0,05$), se identificaron momentos críticos como las semanas 1 y 4 en los que ciertos métodos se desempeñaron con mayor sensibilidad o precisión. Esta variabilidad en los resultados resalta la importancia de considerar el estado fenológico del forraje y las características del método empleado. Tal como lo indican Estrada *et al.*, (2023), la elección de la técnica de estimación debe adecuarse al momento fisiológico del cultivo y al objetivo específico del monitoreo, ya que no todas las herramientas responden con igual eficacia a las distintas etapas del desarrollo vegetal.

Estos hallazgos corroboran lo expuesto por Grijalva (2022), quien demostró que, si bien los métodos indirectos como el uso de drones pueden ser eficaces para la estimación de biomasa en etapas tempranas, es el método directo el que conserva mayor precisión en condiciones de campo con alta heterogeneidad vegetal. En consecuencia, la integración de ambos enfoques podría representar una estrategia óptima para mejorar la planificación del pastoreo y el manejo agronómico del potrero en sistemas pastoriles.

4.1.3. Análisis de correlación de Pearson para materia seca ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)

En el análisis de correlación de Pearson, Tabla 7 muestran que los resultados de la matriz al ser comparados con la Tabla 7. Se observó una correlación positiva alta entre el plato forrajero y los vuelos de dron a distintas alturas: 0,83 a 80 metros, 0,84 a 100 metros y 0,86 a 120 metros, lo que sugiere una relación lineal robusta entre las estimaciones obtenidas mediante percepción remota y el método indirecto considerado como referencia. En cuanto a la relación entre el método de cuadrante y las estimaciones del dron, los coeficientes oscilaron entre 0,64 y 0,73, evidenciando una correlación positiva moderada. Por otro lado, la correlación entre los vuelos de dron a diferentes alturas fue particularmente alta, destacando el coeficiente de $R^2=0,94$ entre 100 y 120 metros, lo que indica una elevada consistencia interna en las mediciones realizadas a esas altitudes. Asimismo, se identificaron correlaciones de

0,85 entre 80 y 100 metros, y de 0,88 entre 80 y 120 metros, ambas clasificadas como positivas altas.

Tabla 7. Análisis de correlación con respecto a comparación para la estimación de mezclas forrajeras de la semana 1-8.

	PLATO	CUADRANTE	DRON (80M)	DRON (100M)	DRON (120M)
PLATO	1,00	2,6E-05	4,6E-09	1,5E-09	1,9E-10
Cuadrante	0,67	1,00	1,2E-05	2,4E-06	8,5E-05
DRON (80M)	0,83	0,69	1,00	1,1E-09	2,2E-11
DRON (100M)	0,84	0,73	0,85	1,00	0,00
DRON (120M)	0,86	0,64	0,88	0,94	1,00

Estos resultados reflejan una relación lineal robusta entre las mediciones realizadas mediante percepción remota drones y el método indirecto convencional, considerado como referencia en diversos estudios. Este comportamiento es coherente con los hallazgos de Ribarola (2023), quien reportó ajustes de coeficiente superiores al $R^2=0,80$ al comparar estimaciones de biomasa obtenidas mediante drones y herramientas de campo en pasturas manejadas.

Asimismo, se observó una correlación positiva moderada entre el método directo y las estimaciones del dron, con coeficientes que oscilaron entre 0,64 y 0,73. Este resultado puede explicarse por la naturaleza destructiva y puntual del método de cuadrante, que permite capturar con mayor precisión la variabilidad estructural del pastizal, aunque con menor representatividad espacial. Según Méndez (2021), el método del cuadrante, pese a su exactitud, puede mostrar diferencias al ser comparado con métodos de mayor escala como los sensores remotos, dado que estos últimos registran valores promedio de $R^2 = 0,58$.

Por otra parte, la correlación entre los vuelos de dron a diferentes alturas mostró valores especialmente altos, destacándose el coeficiente de 0,94 entre las alturas de 100 y 120 metros, lo que indica una elevada consistencia interna en las mediciones obtenidas por percepción remota, con correlaciones de 0,85 entre 80 y 100 metros, y de 0,88 entre 80 y 120 metros, ambas clasificadas como positivas altas según la escala propuesta por López (2022), Tabla 1. Estos valores confirman la estabilidad del sistema aéreo no tripulado empleado y respaldan su fiabilidad para monitorear pasturas en condiciones reales de campo.

En conjunto, estos resultados confirman la confiabilidad de los métodos evaluados y respaldan la integración del uso de drones como herramienta eficiente para la estimación no destructiva de biomasa en sistemas forrajeros, particularmente a

alturas iguales o superiores a 100 metros. Esto coincide con lo reportado por Estrada *et al.*, (2023), quienes destacaron el uso del dron a 100 m cuyo coeficiente logro $R^2=0,94$ y valores de biomasa de $6535,88 \text{ kg*ha}^{-1}$, cuyo resultado es superior a los obtenidos en la investigación lo que valida el alto desempeño de modelos de percepción remota en la predicción de biomasa, siempre que se utilicen sensores calibrados y alturas óptimas de captura.

4.1.4. Análisis de regresión lineal entre plato forrajero y cuadrante

Al aplicar la fórmula de regresión lineal, en la figura 3, se muestra que existe una relación entre dos variables plato forrajero (en el eje vertical) y cuadrante (en el eje horizontal). El resultado demuestra que los puntos no están muy cerca de la línea de tendencia, lo que indica que existe una considerable variabilidad y dispersión en los datos. Por otro lado la línea de tendencia tiene una pendiente positiva, lo que significa que a medida que aumenta el valor del cuadrante, también tiende a aumentar el valor del plato forrajero. Sin embargo, esta relación no es muy fuerte debido a la dispersión de los datos. El modelo de regresión de $R^2=0.45$. Esto significa que solo el 45% de la variabilidad en el plato forrajero puede ser explicada por las variaciones en el cuadrante. El restante 55% de la variabilidad se debe a otros factores no considerados en el análisis.

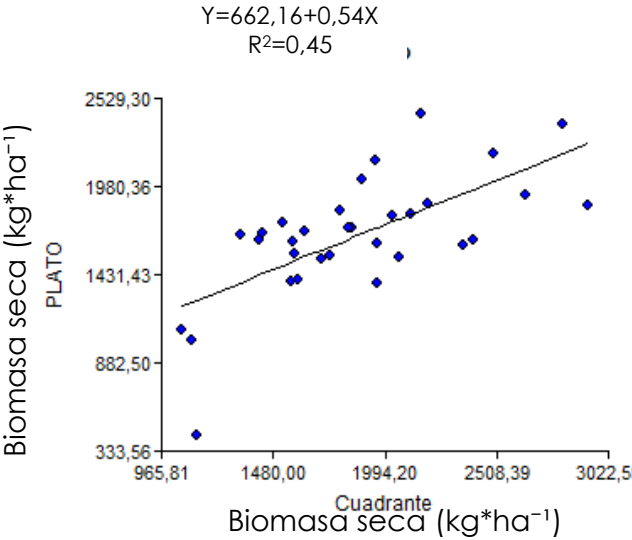


Figura 3. Diagrama de dispersión de correlación plato/cuadrante

La correlación moderada identificada en este análisis coincide con estudios similares. Por ejemplo, Méndez (2021) reportó que el plato forrajero mostró una asociación media en mezclas forrajeras con un coeficiente de $R^2=0,44$ y biomasa obtenida entre 0,5 y 1 kg, valor muy cercano al obtenido en esta investigación. Esto resalta que, aunque el plato forrajero es una herramienta útil por su practicidad, su precisión puede verse afectada si no se calibra adecuadamente según el tipo de pastura.

Asimismo, Grijalva (2022), en su estudio en pastizales del estado de Chihuahua, obtuvo valores de $R^2=0,48$ entre el método de cuadrante y otros métodos indirectos como la altura del dosel y ceptómetro, demostrando que el método del cuadrante sigue siendo uno de los más consistentes, pero no exento de variabilidad.

Por su parte, Bernal *et al.*, (2024) encontró una correlación de $R^2=0,42$ entre la altura estimada con sensores remotos y la biomasa medida directamente, resultado que se asemeja al de este estudio, lo que reafirma que la heterogeneidad estructural de la vegetación influye directamente en la precisión de los métodos indirectos, especialmente cuando no se trabaja con monocultivos.

Estos antecedentes demuestran que el plato forrajero puede ser considerado una herramienta válida para estimaciones rápidas, pero requiere calibraciones específicas para cada sitio y tipo de mezcla forrajera evaluada. Dado su coeficiente de determinación moderado, se sugiere utilizar este método como complemento y no como sustituto del cuadrante, especialmente en estudios donde se requiera alta exactitud en la estimación de biomasa.

4.1.5. Análisis de regresión lineal entre plato forrajero y dron (80m).

En la figura 4, se presenta una relación entre dos variables, el plato forrajero (en el eje vertical) y los datos obtenidos con un dron (en el eje horizontal, específicamente a una altura de 80 metros). El resultado demuestra que los puntos no están perfectamente alineados sobre la línea de tendencia y existe una dispersión un poco anormal, lo que indica que a medida que los puntos se alejan de la línea de regresión menor será el grado de precisión. Esto sugiere una relación directa entre ambas variables. El modelo de regresión obtenido en este análisis es de $R^2=0.69$. Esto significa que el 69% de la variabilidad en la cantidad de plato forrajero puede ser explicada por las variaciones en los datos obtenidos por el dron a una altura de 80 metros.

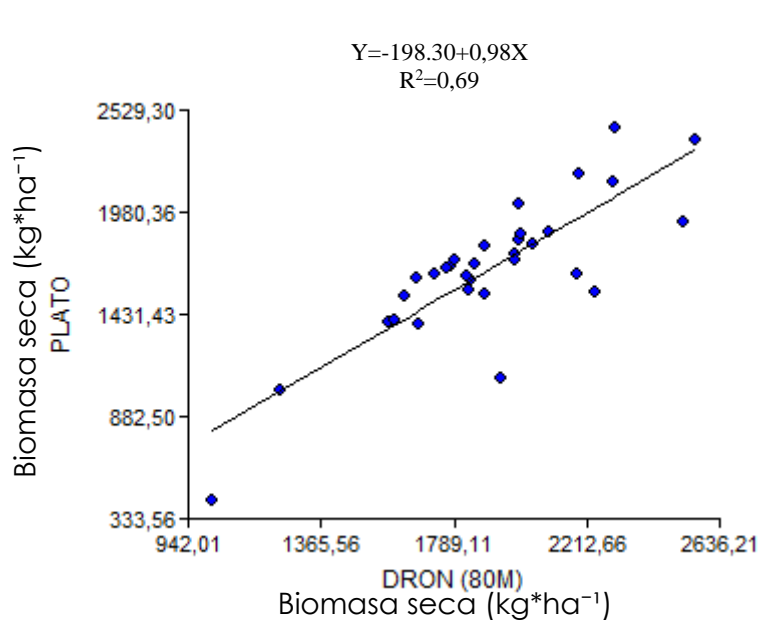


Figura 4. Diagrama de dispersión de correlación plato/dron(80m)

Según los resultados, (Li et al., 2020), concuerdan con que uno de los modelos menos precisos con un error relativo de 18-24% y $R^2=0,69$ a 0,84 valores obtenidos en mi investigación demuestran que información espectral a 80 m no mantiene una confianza significativa.

Según la afirmación de Ribarola (2023), en qué los vuelos a mayor altitud, como los realizados a 100 m, reducen la capacidad de detectar variaciones en la altura y densidad de la pastura. No concuerdan en mi investigación, ya que se observó que al realizar un incremento en la altitud del vuelo permite cubrir una mayor extensión y proporciona una representación más precisa de la realidad. En contraste, a altitudes más bajas, como 60-80 m respectivamente, si bien se logra una mejor resolución en la captura de la pastura, el aumento en la percepción de la colorimetría induce al software a interpretar una mayor biomasa, generando valores que, al compararse con mediciones directas mediante el plato forrajero, resultan sobreestimados y poco representativos.

4.1.6. Análisis de regresión lineal entre plato forrajero y dron (100m).

Al aplicar la fórmula de regresión lineal en la figura 5, se evidencia que hay una relación entre dos variables plato forrajero (en el eje vertical) y los datos obtenidos con un dron a una altura de 100 metros (en el eje horizontal). El modelo de regresión lineal demuestra la relación entre las estimaciones de materia seca obtenidas

mediante el plato forrajero (eje Y) y las obtenidas por un dron a 100 metros de altura (eje X). El coeficiente de determinación $R^2=0,71$, lo que indica que el 71 % de la variabilidad en las mediciones del plato forrajero puede explicarse a partir de los datos proporcionados por el dron, lo cual representa un nivel de ajuste alto y estadísticamente relevante, aunque no perfecto.

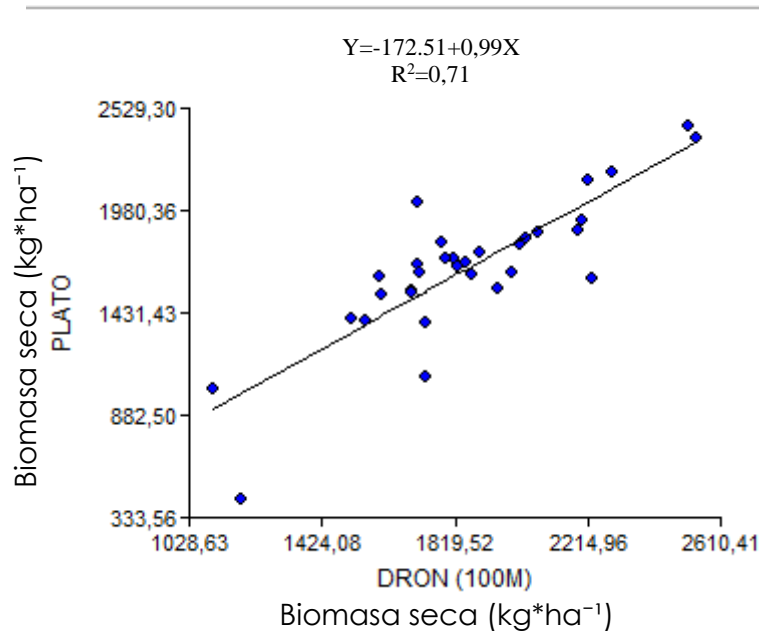


Figura 5. Diagrama de dispersión de correlación plato/dron(100m)

Este valor sugiere que existe una fuerte relación lineal positiva entre ambas variables, evidenciada también por la pendiente de la recta con $R^2 = 0,71$ que tiende a estar cercana a 1. Esto implica que, por cada incremento unitario en la estimación del dron, se produce un incremento casi proporcional en la estimación del plato forrajero. La presencia de cierta dispersión alrededor de la línea de regresión indica que hay un 29 % de variabilidad atribuible a otros factores no considerados en el modelo, como variaciones climáticas, heterogeneidad del potrero, errores de calibración del dron o interferencias propias del entorno ambiental (Méndez, 2021).

La relación observada es coherente con lo señalado por Ribarola (2023), quien destaca que las alturas de vuelo intermedias (entre 80 y 120 metros) ofrecen una adecuada cobertura y resolución espacial para estimaciones de biomasa, logrando ajustes superiores al 80 % en condiciones controladas. Asimismo, el nivel de correlación encontrado respalda los resultados obtenidos en la Tabla 1, donde se clasificó como una correlación positiva alta López (2022), reafirmando que el uso del

dron a 100 metros constituye una alternativa fiable para la estimación no destructiva de materia seca en sistemas forrajeros.

4.1.7. Análisis de regresión lineal entre plato forrajero y dron (120m).

En la figura 6, se presenta una relación entre dos variables, plato forrajero (en el eje vertical) y los datos obtenidos con un dron a una altura de 120 metros (en el eje horizontal). Los resultados demuestran que los puntos se encuentran correlacionados sin mayor dispersión, lo que indica que a medida que los puntos tienden acercarse más a la línea de tendencia mayor será el grado de precisión de la ecuación, indicando buena relación entre las dos variables, lo que significa que a medida que aumenta el valor obtenido por el dron, también tiende a aumentar el valor del plato forrajero. Al aplicar la fórmula de regresión se evidencia que la correlación plato/dron(120m) se ajusta más a la fórmula de regresión, con un valor de $R^2=0.75$, logrando así ajustarse más a la línea de tendencia.

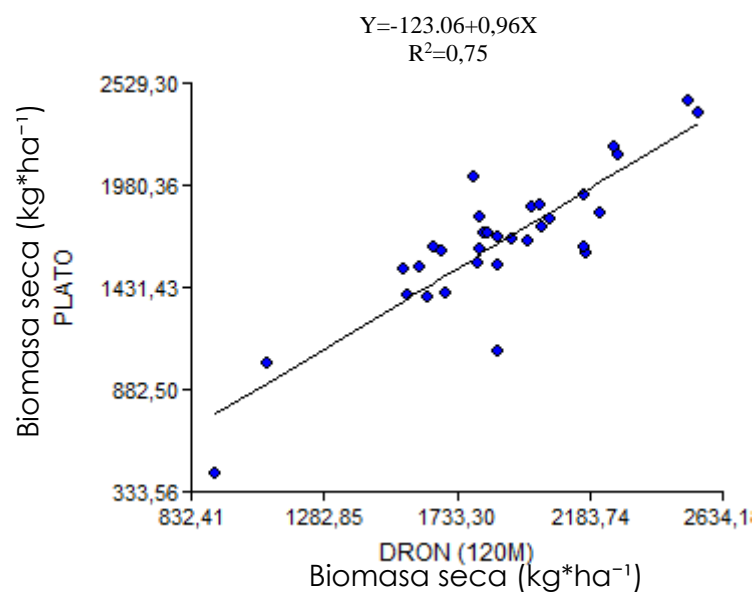


Figura 1. Diagrama de dispersión de correlación plato/dron(120m)

Los resultados obtenidos en este estudio demuestran que las técnicas de agricultura de precisión, especialmente aquellas basadas en imágenes aéreas obtenidas con drones, ofrecen una alternativa prometedora para la estimación de biomasa en mezclas forrajeras. Al igual que en los estudios de Ribarola (2023) y Diaz (2021), se evidencia que existe una alta correlación de $R^2= 0,84$ a $0,92$ entre las estimaciones obtenidas mediante drones y el método convencional de corte y pesaje. Sin embargo, nuestros resultados sugieren que la precisión de las estimaciones puede

variar dependiendo de la altura de vuelo del dron y las condiciones climáticas. Esto coincide con los hallazgos de Méndez (2021), quien reportó una disminución en la precisión de las estimaciones a medida que aumentaba la altura de vuelo.

Esto significa que el 75% de la variabilidad en la cantidad de plato forrajero, casi el 75% de las diferencias en la cantidad de forraje entre diferentes puntos de muestreo pueden atribuirse a las diferencias en los valores obtenidos por el dron. Este valor de R^2 indica una relación muy fuerte entre ambas variables, sugiriendo que los datos del dron son un excelente y el que mayor se ajusta a los valor del plato, sugiriendo este ser un buen predictor de la cantidad de forraje en el área de estudio.

4.1.8. Análisis de comparación de tiempo requerido por método.

La Figura 7 muestra una comparación visual del tiempo operativo estimado, en minutos, requerido por tres métodos de muestreo de biomasa para cubrir una superficie total de 11 hectáreas. En el eje Y izquierdo se representa el tiempo de muestreo (minutos), mientras que en el eje Y derecho se identifican los métodos evaluados.

Los resultados evidencian una marcada diferencia en la eficiencia operativa entre las técnicas analizadas. El uso del dron DJI Mavic 3 Enterprise, representado por la barra verde, requirió únicamente 15 minutos para cubrir la totalidad del área experimental, lo que refleja una notable optimización del tiempo. Este rendimiento está asociado al vuelo automatizado, la captura simultánea de imágenes de alta resolución y su posterior análisis mediante software especializado, como Ganadero SG.

En contraste, el método indirecto con plato forrajero (barra naranja) demandó entre 180 y 240 minutos (equivalente a 3 a 4 horas), tiempo que incluye el desplazamiento entre potreros, lecturas manuales del plato, anotación de datos en campo y cálculos in situ. Este resultado evidencia una carga operativa intermedia respecto a los métodos comparados.

El cuadrante forrajero (barra roja) registró el mayor tiempo operativo, con un rango entre 240 y 300 minutos (4 a 5 horas). Esto se debe a la naturaleza intensiva del método, que implica corte manual, pesaje en campo, etiquetado de muestras y registro detallado, lo que lo convierte en el procedimiento más demandante en cuanto a esfuerzo humano y tiempo.

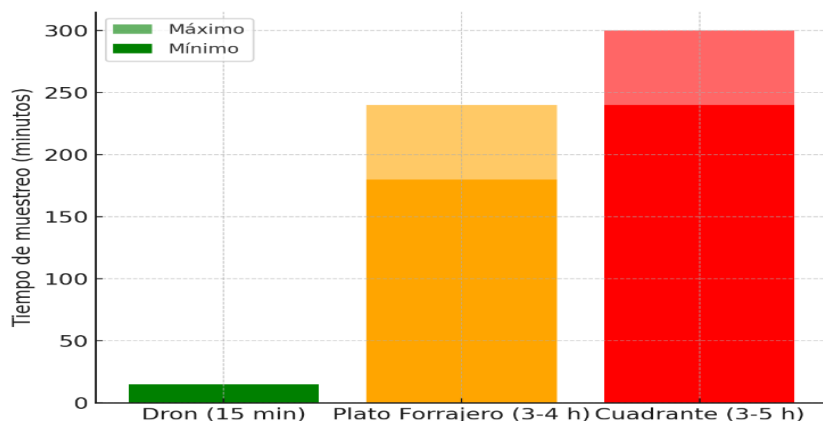


Figura 7. Diagrama de barras comparación de tiempo

Este hallazgo se alinea con los resultados de Delair (2018), quienes reportaron que el uso de drones de ala fija permite reducir hasta en 80 % las horas-hombre en campo, manteniendo una cobertura de grandes extensiones (hasta 1.300 ha por jornada). Asimismo, coincide con lo señalado por Anderson et al. (2020), quienes determinaron que los drones pueden cubrir parcelas de 1 ha en menos de 30 minutos, incluyendo vuelo, procesamiento y análisis geoespacial, superando ampliamente la eficiencia de los métodos tradicionales.

En contraste, los métodos tradicionales como el plato y el cuadrante requieren una alta carga de trabajo humano, lo que representa una limitación cuando se necesita monitoreo frecuente, especialmente en sistemas intensivos de producción animal. El método del plato forrajero, aunque más rápido que el cuadrante, implica calibraciones periódicas y puede verse afectado por variaciones en la estructura del forraje (densidad, altura, humedad).

El cuadrante forrajero, por su parte, es uno de los métodos más utilizados para la estimación directa de biomasa, dado que permite cuantificar el rendimiento en base a corte, recolección y pesaje de la vegetación en áreas definidas. Su precisión lo convierte en una herramienta confiable para estudios agronómicos y calibración de modelos, aunque su aplicación resulta altamente demandante en términos de tiempo, esfuerzo físico y recursos humanos, especialmente cuando se requiere evaluar grandes extensiones o múltiples repeticiones.

4.1.9. Análisis de comparación de costos operativos requerido por método.

La Figura 8 presenta una comparación de los costos operativos estimados para cada uno de los tratamientos aplicados en la medición de biomasa en una superficie de 11 hectáreas. Esta evaluación consideró variables como el tiempo invertido, el número de operarios requeridos, el desgaste de equipos y el uso de materiales de campo.

Los resultados revelan que el uso del dron (T3) no solo fue el más eficiente en términos de tiempo, con 15 minutos por jornada, sino que también se destacó como el método de menor costo operativo, con un valor estimado de \$25 USD. En contraste, el método del cuadrante (T5) representó el mayor costo, alcanzando \$100 USD, seguido del plato forrajero (T4) con \$75 USD. Esta diferencia de hasta un 75 % menos de costos en favor del dron frente al cuadrante, y del 66 % respecto al plato, subraya una clara ventaja en términos de relación costo-beneficio.

Este ahorro operativo se atribuye a múltiples factores al dron requiere menos personal para su operación, no demanda esfuerzo físico intenso, y sus necesidades de mantenimiento, calibración e insumos son considerablemente menores que las de los métodos manuales. Además, la automatización del procesamiento mediante software especializado como Ganadero SG permite reducir significativamente el tiempo de análisis, eliminando costos indirectos relacionados con procesamiento manual, transporte o manipulación de muestras.

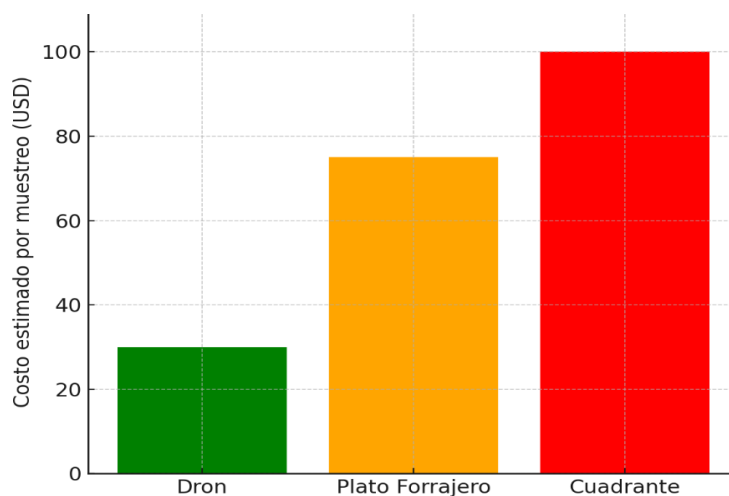


Figura 8. Diagrama de barras comparación de costos operativos

Estos hallazgos se alinean con los reportados por Delair (2018), quien estimó que el uso de UAVs puede reducir los costos operativos a tan solo \$1,10 USD/ha, frente a los \$15–25 USD/ha de los métodos tradicionales, gracias a la reducción del 80 % en horas-hombre y la eliminación de tareas destructivas. Ribarola (2023) refuerza esta perspectiva al señalar que los drones, aplicados en sistemas extensivos de pastura, pueden disminuir los costos de medición hasta un 70 %, sin comprometer la precisión de los datos recolectados.

Adicionalmente, Artola y Pérez (2024) indican que la escalabilidad del dron y su bajo índice de error humano lo convierten en una tecnología ideal para sistemas ganaderos modernos, al permitir una cobertura completa, reproducibilidad de datos y monitoreo a nivel espacial sin deterioro de la pastura. Esta eficiencia también ha sido respaldada por Estrada *et al.* (2023), quienes demostraron que la automatización en la captura y análisis de datos mediante ortomosaicos y modelos digitales eleva la rentabilidad de la teledetección forrajera, como lo evidencian los vuelos programados y el modelado digital utilizados en esta investigación.

Esta observación coincide con lo indicado por Ribarola (2023), quien menciona que en pasturas de gran extensión, el uso de drones puede reducir los costos de medición hasta un 70 % frente a métodos manuales, sin comprometer la calidad de los datos. Asimismo, Artola y Pérez (2024) afirman que los drones tienen menor índice de error humano y su mantenimiento por unidad de área monitoreada es más bajo debido a su escalabilidad y capacidad de cobertura.

Además, se ha documentado (Estrada *et al.*, 2023), que la eficiencia de costos en teledetección se incrementa conforme se automatizan los procesos de captura y análisis, lo cual se cumple en tu estudio al utilizar vuelos programados y ortomosaicos para estimar biomasa seca.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La evaluación comparativa evidenció una alta correlación entre las técnicas de agricultura de precisión y los métodos convencionales para la estimación de biomasa. Las alturas de vuelo de 100 m y 120 m mostraron coeficientes de determinación de 0,71 y 0,75, respectivamente, indicando que son óptimas para obtener estimaciones precisas bajo las condiciones del Centro Experimental San Francisco-UPEC.
- El análisis de regresión lineal entre plato forrajero (T4) y cuadrante (T5) presentó un valor bajo de $R^2 = 0,45$, lo que sugiere baja concordancia entre ambos métodos y alta dispersión de los datos. Esto evidencia que el plato forrajero, al depender de la estructura del forraje, presenta menor confiabilidad en comparación con métodos directos como el cuadrante.
- El tratamiento con dron a 120 m (T3) obtuvo la mayor estimación de materia seca en la semana 1 con 2019,89 kg MS/ha. Esto respalda su efectividad como método no destructivo, eficiente y preciso para el monitoreo de biomasa en mezclas forrajeras.
- La variabilidad observada en los resultados puede atribuirse a la heterogeneidad edafológica, condiciones micro climáticas y diferencias en la composición vegetal del terreno. Se recomienda considerar estas variables como covariables en futuros diseños experimentales.
- El dron presentó el menor costo operativo, estimado en \$25 por jornada, frente a \$75 con el plato forrajero y \$100 con el cuadrante. Esta reducción de hasta el 75% en los costos lo posiciona como una herramienta rentable y escalable para sistemas ganaderos tecnificados, siempre y cuando ya se disponga de las herramientas como el dron, por otras perspectivas el valor operativo inicial con inversión del dron se eleva a valores cercanos a 6,000
- El tiempo requerido con dron fue de 15 min por hectárea, frente a las 3–5 h requeridas por métodos tradicionales, lo que representa una mejora del 90%

en eficiencia temporal. Esta ventaja permite un monitoreo más frecuente y decisiones técnicas más oportunas para la gestión del pastoreo.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda implementar el uso de drones a una altura de 120 metros para la estimación de biomasa en mezclas forrajeras, debido a que esta altura presentó los mejores resultados en cuanto a precisión de estimación, eficiencia operativa y correlación estadística con los métodos convencionales.
- Se recomienda realizar estudios complementarios que evalúen la aplicabilidad de estas tecnologías bajo distintos escenarios agroecológicos, tipos de forraje y estaciones climáticas, así como en combinación con diversos softwares de procesamiento. Esta línea permitirá fortalecer la robustez metodológica y ampliar la transferencia de resultados.
- Se sugiere integrar sensores multiespectrales, imágenes RGB u otras herramientas de agricultura digital que permitan complementar las estimaciones volumétricas de los cultivos forrajeros, mejorando así la precisión y profundidad analítica de las evaluaciones.
- Se recomienda utilizar metodologías estandarizadas mediante diseños experimentales y pasturas homogéneas, lo que contribuirá a minimizar el grado de error no deseada y facilitar la comparación entre tratamientos o modelos predictivos desarrollados.
- Es aconsejable fomentar colaboraciones entre carreras computacionales afines, tales como ingeniería en software, ciencias de datos o inteligencia artificial, para el desarrollo de plataformas digitales que automaticen el procesamiento de datos y generen modelos predictivos más accesibles y escalables.
- Continuar con la investigación dentro del Centro Experimental San Francisco, el cultivo de pastos tiene un amplio conocimiento y ciencia que debe ser mayormente investigada validando toda técnica de estimación ayudando a tener una precisión mayor y reemplazar a las técnicas convencionales.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AERIAL PRODUCTIONS. (12 de 02 de 2018). *Drones para Agricultura de Precisión y Cultivo*. AERIAL PRODUCTIONS: <https://aerialproductions.es/drones-agricultura-precision/#:~:text=Tipos%20de%20drones%20para%20agricultura&text=Los%20tipos%20son%3ADrones%20para,vi%C3%B1edos%2C%20Drones%20para%20maquinaria%20agr%C3%ADcola>.
- Agrizon. (2025). *Semilla de llanten Forrajero 25 kg*. Agrizon: <https://agrizon.com/products/semilla-de-llanten-forrajero-25-kg?srlid=AfmBOorkpl5GaMFX6AKwtGM3zlRBxWNJ3Bu1bY2RsekREedF-OT5keCh>
- Agronet. (30 de Marzo de 2022). *Por estas razones el pasto kikuyo es recomendado para producción de leche en trópico alto*. Upura: <https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/Por-estas-razones-el-pasto-kikuyo-es-recomendado-para-produccion-de-leche-en-tr%C3%B3pico-alto.aspx#:~:text=En%20este%20sentido%2C%20al%20incrementar,la%20energ%C3%ADa%20neta%20de%20lactancia>.
- Agrovet Market. (18 de Marzo de 2024). *blog.agrovetmarket.com*. [blog.agrovetmarket.com: https://blog.agrovetmarket.com/paises-ganado-vacuno-mundo/#:~:text=%C2%BFA%20cu%C3%A1nto%20asciende%20la%20poblaci%C3%B3n,de%20307%2C500%20millones%20de%20vacas](https://blog.agrovetmarket.com/paises-ganado-vacuno-mundo/#:~:text=%C2%BFA%20cu%C3%A1nto%20asciende%20la%20poblaci%C3%B3n,de%20307%2C500%20millones%20de%20vacas).
- APD- Profesionales de Drones. (15 de 05 de 2023). *Regulación Aeronáutica de Drones: Garantía para el uso profesional de Drones*. APD- Profesionales de Drones: <https://idc.apddrones.com/regulacion/regulacion-aeronautica-de-drones/>
- Artola, I., & Pérez, J. (2024). *Estimación de biomasa de festuca mediante el uso de drone multiespectral*. Montevideo: Universidad de la República.
- BBVA. (14 de 07 de 2024). [www.bbva.com](https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-la-agricultura-de-precision-la-gestion-digital-del-campo/). [www.bbva.com: https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-la-agricultura-de-precision-la-gestion-digital-del-campo/](https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-la-agricultura-de-precision-la-gestion-digital-del-campo/)
- Beaulieu, D. (18 de 09 de 2024). *How to Grow and Care for White Clover*. The Spruce: <https://www.thespruce.com/growing-white-clover-trifolium-repens-5101230>
- Bernal, Á., Acero-Camelo, A., & Gutiérrez, A. (2024). Estimación de la biomasa en una pradera de kikuyo mediante el uso de sensores remotos. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 15(1), 175-190. <https://doi.org/https://doi.org/10.22490/21456453.6657>
- Bretas, I., Dubeux, J., Cruz, P., Oduor, K., Queiroz, L., Valente, D., & Chizzotti, F. (27 de 03 de 2023). *Ganadería de precisión aplicada al monitoreo y gestión de pastizales: una revisión*. *Agronomy Journal*: <https://doi.org/10.1002/ajg2.21346>

- Castro, E., Cardona, J., Meneses, D., Morales, S., Portillo, P., Hernández, F., & Zapata, J. (2022). *Caraterísticas, manejo y uso de gramíneas y leguminosas en sistemas de producción bovina del trópico alto colombiano*. Mosquera, Cundinamarca : Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – agrosavia. https://doi.org/https://co.creativecommons.org/?page_id=13
- Chapi, E. (2021). *Evaluación del levante de terneros utilizando pasto tierno y pasto maduro desde el destete hasta los seis meses en la finca El Arroyo*. Túlcan : Universidad Politécnica Estatal del Carchi .
- Confederación de Asociaciones de Frisona Española. (11 de Octubre de 2023). *Revista Frisona*. *Revista Frisona*: <https://www.revistafrisona.com/Noticia/realidadganadera-hechos-sobre-la-ganaderia-y-el-uso-de-la-tierra#:~:text=Adem%C3%A1s%20de%20los%20pastos%2C%20la,de%20la%20tierra%20cultivable%20mundial.>
- Contextoganadero. (12 de 09 de 2023). *El pasto raigrás, una joya verde para la ganadería*. Contextoganadero: <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/el-pasto-raigras-una-joya-verde-para-la-ganaderia>
- Correa, D. (31 de 01 de 2022). *Por qué es importante aforar los potreros*. TuAgro: <https://tuagro.com/por-que-es-importante-aforar-los-potreros/>
- Demagnet, R. (2020). *Determinación de la disponibilidad*. Universidad de Frontera. https://doi.org/https://praderasypasturas.com/rolando/01.-Catedras/08.-Manejo_de_Pastoreo/2020/06.-Determinacion_de_la_Disponibilidad.pdf
- Diaz, J. (2021). *Manejo De Praderas Con El Uso De Tecnología De Precisión Software Taurus Web Y Platómetro*. Socorro: Universidad Libre .
- Dronesec. (01 de 05 de 2024). *Descubre cómo calcular la biomasa residual con drones: Guía paso a paso*. Dronesec: https://dronesec.club/calcular-la-biomasa-residual-por-medio-de-drones/?expand_article=1
- EOS Data Analytics. (19 de 03 de 2025). *Drones Y Satélites En El Sector Agrícola*. EOS Data Analytics: <https://eos.com/es/blog/drones-y-satelites-para-agricultura/>
- Estrada, A., Cárdenas, J., Bejar, J., & Ñaupari, J. (2023). Estimación de la biomasa de una comunidad vegetal altoandina utilizando imágenes multiespectrales adquiridas con sensores remotos UAV y modelos de Regresión Lineal Múltiple, Máquina de Vectores Soporte y Bosques Aleatorios. *Scientia Agropecuaria*, 13(3). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.027>
- Fontagro. (15 de Abril de 2025). *Simplificación de las estimaciones de biomasa forrajera a partir de datos satelitales*. Fontagro: <https://www.fontagro.org/new/noticias/662/es/simplificacion-de-las-estimaciones-de-biomasa-forrajera-a-partir-de-datos-satelitales>

- Méndez, D. (2021). *Evaluar diferentes métodos de determinación de biomasa de mezclas forrajeras*. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Moreno, D., Fonseca, C., Rodríguez-Molano, C., & Pulido-Suarez, N. (2019). Calibración del plato forrajero en praderas de kikuyo (*Pennisetum Clandestinum Hochst.ex Chiov*) en el trópico alto colombiano. *Ciencia y Agricultura*, 16(1), 52-62. <https://doi.org/https://doi.org/10.19053/01228420.v16.n1.2019.8831>
- Moya, R. (08 de 05 de 2024). *El aforo del pasto y sus aplicaciones*. El mundo: <https://elmundo.cr/opinion/el-aforo-del-pasto-y-sus-aplicaciones/>
- Muñoz, F. (2023). *Estimación de biomasa de maíz forrajero a partir de imágenes de drones y aprendizaje profundo*. Chapingo, Estado. de México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Nevian. (23 de 04 de 2024). *neviaanfertilizantes.com*. [neviaanfertilizantes.com: https://neviaanfertilizantes.com/blog/todo-lo-que-debes-saber-sobre-la-agricultura-de-precision/](https://neviaanfertilizantes.com/blog/todo-lo-que-debes-saber-sobre-la-agricultura-de-precision/)
- Ojeda, J., Quinodoz, J., & Lezana, L. (2021). Estimación de disponibilidad forrajera de pasturas base alfalfa y verdeos invernales en el sudoeste de Entre Ríos. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 47(1), 26-45. <https://doi.org/https://www.redalyc.org/journal/864/86468100002/html/>
- Osorio-Giraldo, J., Calderón-Bedoya, V., López, O., & Restrepo-Berrio, D. (2024). IMPORTANCIA DE LA DISPONIBILIDAD DE ALTERNATIVAS FORRAJERAS PARA LA ALIMENTACIÓN DE GANADO BOVINO. *Revista Politécnica*, 20(39), 18-30. <https://doi.org/https://doi.org/10.33571/rpolitec.v20n39a2>
- Repsol. (24 de 04 de 2024). *www.repsol.com*. [www.repsol.com: https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/agricultura-de-precision/index.cshtml#:~:text=La%20agricultura%20de%20precisi%C3%B3n%20es,cultivos%20y%20los%20recursos%20disponibles.](https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/agricultura-de-precision/index.cshtml#:~:text=La%20agricultura%20de%20precisi%C3%B3n%20es,cultivos%20y%20los%20recursos%20disponibles.)
- Revelo, R. (20 de Noviembre de 2024). ¿Cuál es el vínculo entre los drones, la inteligencia artificial y la agricultura en Ecuador? *Primicias*. [www.primicias.ec: https://www.primicias.ec/ciencia-tecnologia/drones-agricultura-precision-inteligencia-artificial-ecuador-83612/](https://www.primicias.ec/ciencia-tecnologia/drones-agricultura-precision-inteligencia-artificial-ecuador-83612/)
- Ribarola, J. (2023). *Cuantificación de biomasa en pasturas a partir de imágenes tomadas por drones*. Montevideo: Universidad de la República .
- Robles, G. (2022). *Evaluación de la aplicación de tres fertilizantes sobre la producción de biomasa de una mezcla forrajera, en la finca San Vicente, parroquia el Carmelo-Carchi-Ecuador*. Túlcan: Universidad Politécnica Estatal del Carchi .
- SafetyCulture. (15 de 01 de 2024). *safetyculture.com*. [safetyculture.com: https://safetyculture.com/es/temas/agricultura-de-precision/](https://safetyculture.com/es/temas/agricultura-de-precision/)

- Santander, V., & García, Y. (2022). Evaluación de biomasa aérea acumulada y sostenibilidad ecológica en bosques amazónicos: estudio de caso comunidad Cotocochar. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 10(1). https://doi.org/http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2310-34692022000100001
- Sergieieva, K. (11 de 04 de 2025). *Índices De Vegetación En La Agricultura Digital*. EOS Data Analytics: <https://eos.com/es/blog/indices-de-vegetacion/>
- Silva, L. (25 de 10 de 2023). *Measuring Forage Mass on Pastures to Adjust Stocking Rate*. Land Grant Press: <https://clemsontech.com/s/6x0qn5pvca8il1ex200tla5eg6gh5gd1>
- Stoner, J. (18 de 01 de 2025). *Drones agrícolas: agricultura con integración de IA (2025)*. www.flyeye.io: <https://www.flyeye.io/agricultural-drones-ai/>
- TODOELCAMPO. (24 de Mayo de 2023). *Los drones aseguran un 66% de precisión en el monitoreo de pastos*. todoelcampo.com.uy: <https://todoelcampo.com.uy/2023/05/los-drones-aseguran-un-66-de-precision-en-el-monitoreo-de-pastos/>
- Vasquez, A. (2022). *Plan de instalación y manejo de suparcela de forraje, especie a sembrar y distribución de 4 especies por región natural*. CHICLAYO-PERÚ: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

VII. ANEXOS

Anexo 3. Acta de la sustentación de Predefensa del TIC



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI



FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA DE AGROPECUARIA

ACTA

DE LA SUSTENTACIÓN ORAL DE LA PREDEFENSA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

ESTUDIANTE:	Cajas Pasquel Cristian Fernando	CÉDULA DE IDENTIDAD:	041871587
PERIODO ACADÉMICO:	2025 A		
PRESIDENTE TRIBUNAL	MSC. HERRERA RAMÍREZ CARLOS DAVID	DOCENTE TUTOR:	MSC. IBARRA ROSERO EDISON MARCELO
DOCENTE:	PhD. BALAREZO URRESTA LUIS RODRIGO		
TEMA DEL TIC:	Comparación de técnicas de agricultura de precisión y convencionales en la medición de biomasa en mezclas forrajeras en el Centro Experimental San Francisco-UPEC		
No.	CATEGORÍA	Evaluación cuantitativa	OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES
1	PROBLEMA - OBJETIVOS	8,00	
2	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	8,00	buscar investigaciones que tengan datos
3	METODOLOGÍA	8,00	
4	RESULTADOS	8,00	determinar cual es la mejor altura y relación
5	DISCUSIÓN	8,00	
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	8,00	agregar recomendación sobre tiempo y costos entre tratamientos
7	DEFENSA, ARGUMENTACIÓN Y VOCABULARIO PROFESIONAL	8,00	
8	FORMATO, ORGANIZACIÓN Y CALIDAD DE LA INFORMACIÓN	8,00	corregir formato de la UPEC, Normas APA

Obteniendo una nota de: 8,00 Por lo tanto, **APRUEBA** ; debiendo el o los investigadores acatar el siguiente artículo:

Art. 36.- De los estudiantes que aprueban el informe final del TIC con observaciones.- Los estudiantes tendrán el plazo de 10 días para proceder a corregir su informe final del TIC de conformidad a las observaciones y recomendaciones realizadas por los miembros del Tribunal de sustentación de la pre-defensa.

Para constancia del presente, firman en la ciudad de Tulcán el lunes, 30 de junio de 2025


MSC. HERRERA RAMÍREZ CARLOS DAVID
PRESIDENTE TRIBUNAL


MSC. IBARRA ROSERO EDISON MARCELO
DOCENTE TUTOR


PhD. BALAREZO URRESTA LUIS RODRIGO
DOCENTE

Anexo 4. Certificado del abstract por parte de idiomas



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI FOREIGN AND NATIVE LANGUAGES CENTER

ABSTRACT- EVALUATION SHEET

NAME: Cajas Pasquel Cristian Fernando

DATE: Martes, 8 de julio de 2025

Topic: “Comparación de técnicas de agricultura de precisión y convencionales en la medición de biomasa en mezclas forrajeras en el Centro Experimental San Francisco-UPEC”

MARKS AWARDED

QUANTITATIVE AND QUALITATIVE

VOCABULARY AND WORD USE	Use new learnt vocabulary and precise words related to the topic	Use a little new vocabulary and some appropriate words related to the topic	Use basic vocabulary and simplistic words related to the topic	Limited vocabulary and inadequate words related to the topic
	EXCELLENT: 2 <input checked="" type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input checked="" type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
WRITING COHESION	Clear and logical progression of ideas and supporting paragraphs.	Adequate progression of ideas and supporting paragraphs.	Some progression of ideas and supporting paragraphs.	Inadequate ideas and supporting paragraphs.
	EXCELLENT: 2 <input checked="" type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
ARGUMENT	The message has been communicated very well and identify the type of text	The message has been communicated appropriately and identify the type of text	Some of the message has been communicated and the type of text is little confusing	The message hasn't been communicated and the type of text is inadequate
	EXCELLENT: 2 <input checked="" type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
CREATIVITY	Outstanding flow of ideas and events	Good flow of ideas and events	Average flow of ideas and events	Poor flow of ideas and events
	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input checked="" type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
SCIENTIFIC SUSTAINABILITY	Reasonable, specific and supportable opinion or thesis statement	Minor errors when supporting the thesis statement	Some errors when supporting the thesis statement	Lots of errors when supporting the thesis statement
	EXCELLENT: 2 <input checked="" type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
TOTAL/AVERAGE	9 - 10: EXCELLENT 7 - 8,9: GOOD 5 - 6,9: AVERAGE 0 - 4,9: LIMITED	TOTAL 9		



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL
CARCHI- FOREIGN AND NATIVE LANGUAGES
CENTER**

**Informe sobre el Abstract de Artículo Científico
o Investigación.**

Autor: Cajas Pasquel Cristian Fernando

Fecha de recepción del abstract: Martes, 8 de julio de

Fecha de entrega del informe: Martes, 8 de julio de 2025

El presente informe validará la traducción del idioma español al inglés si alcanza un porcentaje de: 9 – 10 Excelente.

Si la traducción no está dentro de los parámetros de 9 – 10, el autor deberá realizar las observaciones presentadas en el ABSTRACT, para su posterior presentación y aprobación.

Observaciones:

Después de realizar la revisión del presente abstract, éste presenta una apropiada traducción sobre el tema planteado en el idioma Inglés. Según la rúbrica de evaluación de la traducción en Inglés, ésta alcanza un valor de 9; por lo cual se valida dicho trabajo.

Atentamente



MA. Martha Viveros
Docente responsable del
CIDEN



Figura 1. Calibración y ensamble del dron



Figura 2. Corte y toma de muestras



Figura 3. Pesaje en kg de muestras recolectadas de cada lote



Figura 4. Pesaje de 100 g de muestra de cada lote para secado



Figura 5. Secado y registro de cada muestra de 100 g



Figura 6. Pesaje final resultado del secado en materia seca



Figura 7. Procesamiento de imágenes en software Ganadero SG.