

**EVOLUCIÓN Y RECUPERACIÓN DE PASTURAS PARA OPTIMIZAR LOS
RENDIMIENTOS NUTRICIONALES DE LOS SEMOVIENTES
INTERPRETANDO LOS ÍNDICES DE VEGETACIÓN NORMALIZADA
USANDO LEVANTAMIENTOS MULTIESPECTRALES**

**EVOLUTION AND RECOVERY OF PASTURES TO OPTIMIZE LIVESTOCK
NUTRITIONAL YIELDS BY INTERPRETING NORMALIZED VEGETATION
INDICES USING MULTISPECTRAL SURVEYS**

 **MSc. Luis Daniel Gualdrón G***,  **PhD. Oscar Eduardo Gualdrón-Guerrero****,
 **MSc. Marisol Maestre Delgado***

* **Universidad de Pamplona**, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Grupo de
investigación Sistemas multisensoriales y reconocimiento de patrones (GISM).
Ciudadela Universitaria. Pamplona, Norte de Santander, Colombia.
Tel.: (+57) 607 5685303

E-mail: {luis.gualdrón2, oscar.gualdrón, marisol.maestre}@unipamplona.edu.co
** **Fundación Ernesto Schiefelbein**, Grupo de investigación Agroinnova.
Bogotá, Colombia.

Cómo citar: Gualdrón Guerrero, L. D., Gualdrón Guerrero, O. E., & Maestre Delgado, M. (2023). EVOLUCIÓN Y RECUPERACIÓN DE PASTURAS PARA OPTIMIZAR LOS RENDIMIENTOS NUTRICIONALES DE LOS SEMOVIENTES INTERPRETANDO LOS ÍNDICES DE VEGETACIÓN NORMALIZADA USANDO LEVANTAMIENTOS MULTIESPECTRALES. REVISTA COLOMBIANA DE TECNOLOGÍAS DE AVANZADA (RCTA), 2(42), 105–114. Recuperado a partir de <https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/rcta/article/view/2701>

Esta obra está bajo una licencia internacional
[Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).



Resumen: La agricultura de precisión ha experimentado avances significativos mediante el aprovechamiento de tecnologías como el uso de drones y la captura de imágenes espectrales. La aplicación del índice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) se ha convertido en una herramienta clave para la identificación de coberturas vegetales, permitiendo analizar la salud de los cultivos con gran precisión y la estimación del área ocupada según la densidad de biomasa. La combinación de estas tecnologías facilita la generación de tasas de crecimiento diario de la vegetación, lo que resulta fundamental para proyectar la recuperación de pasturas. En este trabajo, el NDVI se empleó para evaluar la salud y prever la necesidad de ajustes en la gestión y manejo de la pradera y los requerimientos del pasto kikuyo. Las proyecciones basadas en estos datos ofrecen una herramienta valiosa para la toma de decisiones, asegurando que las estrategias de recuperación de pasturas sean adecuadas y efectivas a medida que se optimizan los rendimientos para la nutrición de semovientes. El presente artículo se enfoca en el seguimiento de la evolución de la pastura de kikuyo, específicamente en un predio del municipio de Pamplona, Norte de Santander, la ventana de tiempo para el desarrollo del seguimiento se determinó en cuatro meses, en los cuales se efectuó un levantamiento multiespectral por mes, con la información obtenida se determinaron tasas de crecimiento diario y la proyección de los días para el restablecimiento del pasto, concluyendo que los tiempos de reposo de las praderas para un adecuado manejo es inversamente proporcional a la cantidad de área cubierta con material vegetal en óptimas condiciones al inicio del restablecimiento de la pradera.

Palabras clave: NDVI, imágenes multiespectrales, drones, caracterización de suelos.

Abstract: Precision agriculture has experienced significant advances by taking advantage of technologies such as the use of drones and the capture of spectral images. The application of NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) has become a key tool for the identification of vegetation cover, allowing for the accurate analysis of crop health and the estimation of the area occupied according to biomass density. The combination of these technologies facilitates the generation of daily vegetation growth rates, which is essential for projecting pasture recovery. In this work, NDVI was used to assess the health and anticipate the need for adjustments in pasture management and kikuyo grass requirements. Projections based on these data provide a valuable tool for decision making, ensuring that pasture recovery strategies are appropriate and effective as yields are optimized for livestock nutrition. This article focuses on monitoring the evolution of kikuyo pasture, specifically in a farm in the municipality of Pamplona, Norte de Santander, the time window for the development of the monitoring was determined in four months, in which a multispectral survey was carried out per month, and with the information obtained, daily growth rates and the projection of the days for the reestablishment of the grass were determined.

Keywords: NDVI, multispectral images, UAV, soil characterization.

1. INTRODUCCIÓN

En el contexto agrícola colombiano, la incorporación de nuevas tecnologías enfrenta diversos desafíos (Garbero y Jäckering, 2021). Uno de los retos más destacados es la gestión eficiente de los recursos económicos, especialmente la reducción de insumos agroquímicos. En este sentido, la inclusión de imágenes espectrales emerge como una estrategia clave para optimizar el uso de insumos, permitiendo una aplicación más precisa y dirigida (Cordero et al., 2020; Talaviya et al., 2020). Este enfoque no solo contribuye a la sostenibilidad ambiental al disminuir la contaminación, sino que también representa un manejo más eficaz de los recursos naturales (Bwambale et al., 2022). La combinación de tecnologías innovadoras no solo busca mejorar la productividad agrícola (Griesche y Baeumner, 2020), sino también aborda la necesidad de armonizar el progreso tecnológico con la preservación del entorno, promoviendo así un equilibrio sostenible.

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) se destaca como una herramienta esencial en la evaluación del estado de la vegetación. Este índice utiliza mediciones espectrales para cuantificar la salud de las plantas, proporcionando información valiosa sobre la cantidad y calidad de la vegetación (Pelaez et al., 2020). La capacidad del NDVI para detectar cambios en la cobertura vegetal

a lo largo del tiempo lo convierte en un instrumento clave para monitorear la salud de los cultivos y prevenir posibles problemas. Su amplio uso en agricultura de precisión permite a los agricultores tomar decisiones eficiente y sostenible (Cordero et al., 2020; Vecchio et al., 2020).

La exploración profunda de la temática inicia al comprender el comportamiento de las ondas electromagnéticas, centrándose particularmente en su incidencia en las hojas de las plantas y cómo estas reaccionan al ser reflejadas o absorbidas. Este conocimiento fundamental sienta las bases para abordar la adquisición de imágenes multiespectrales como una herramienta esencial que captura con detalle la interacción mencionada (Deng et al., 2018). Estas imágenes, al revelar las características fenológicas de cultivos y suelos, se destacan como un recurso valioso para la comprensión y el análisis de la salud de la vegetación, estableciendo así un puente entre el comportamiento de las ondas electromagnéticas y su aplicación práctica en el ámbito agrícola (Eddy et al., 2017).

La incorporación de índices normalizados en los diferentes sectores del agro colombiano con el fin de mejorar los rendimientos económicos, hace necesario desarrollar investigaciones de la viabilidad y su adecuada implementación, la presente investigación se enfoca en los tiempos de recuperación de las praderas de pasto, para un buen manejo y rendimiento de las áreas asignadas a

pastoreo es fundamental identificar cuando se han restablecido totalmente para proporcionar una buena nutrición al ganado, lo cual permite el aumento de la producción de leche o aumento de peso en los individuos, se realizó un seguimiento de los porcentajes de áreas ocupada por las coberturas identificadas por medio del índice NDVI, el seguimiento de la evolución de la pastura de kikuyo se desarrolló en un predio del municipio de Pamplona norte de Santander, la ventana de tiempo para el desarrollo del seguimiento se determinó en cuatro meses, en los cuales se efectuó un levantamiento multiespectral por mes, con la información obtenida se determinaron tasas de crecimiento diario y la proyección de los días para el restablecimiento del pasto.

2. METODOLOGÍA

Hay múltiples metodologías que permiten implementar de la mejor forma este tipo de tecnologías de monitoreo en los que no solo se pueden adquirir imágenes en diferentes espectros de luz si no también imágenes RGB (Xie y Yang, 2020) con las cuales se pueden obtener curvas de nivel e imágenes de alto calidad con metadatos respecto al posicionamiento global en el momento que fueron adquiridas (Singh y De Silva, 2018). En el mercado internacional se encuentran diferentes tipos de sensores que se destacan por la calidad de imágenes que adquieren (RadhaKrishna et al., 2021) además que también se puede contar con el monitoreo por medio de satélites de observación terrestre que son de gran utilidad en el sector agrícola (Chuchico-Arcos y Rivas-Lalaleo, 2021; Whitcraft et al., 2022).

En este trabajo se desarrollaron una serie de actividades que permitieron realizar un levantamiento multiespectral exitoso (Rivera, Bonilla y Obando-Vidal, 2021), ya que gracias a la información recolectada se pudo generar ortofotomosaicos en donde se condensan la totalidad de las imágenes adquiridas por predio, siguiendo la misma metodología para la totalidad de los predios.

Dentro de las actividades iniciales para el desarrollo del proyecto se destacan la recolección de datos numéricos geográficos de las hectáreas de tierra que son materia de estudio, utilizando el sistema de referencia Magna Bogotá, con el fin de generar planes de vuelos que serán seguidos por el vehículo aéreo no tripulado bajo la modalidad de vuelo autónomo (Modica et al., 2020).

El vehículo aéreo tiene incorporado un sensor capaz de percibir radiaciones electromagnéticas con longitudes de onda diferentes, destacándose específicamente cinco bandas espectrales: roja, verde, azul, infrarrojo cercano y borde de rojo (Fern et al., 2018). El sensor se seleccionó teniendo en cuenta la cantidad de bandas disponibles, además del peso y la capacidad de almacenar la información en una memoria SD de alta velocidad de escritura, que descarta la posibilidad de pérdida de imágenes. La resolución de la cámara es de 8 cm por píxel a 120 m de altura con velocidades de captura de hasta 1 captura por segundo.

El proceso de adquisición de imágenes se inició estableciendo los puntos de los polígonos que corresponden a los límites del terreno que será muestreado, realizando una inspección visual definiendo las propiedades físicas del terreno e identificando los posibles obstáculos a los que puede verse enfrentado el vehículo aéreo no tripulado con el fin de evitar accidentes. La obtención de los puntos de sistema global de posicionamiento se realiza por medio de equipos de navegación cinética satelital en tiempo real obteniendo una alta exactitud del posicionamiento adquirido.

Una vez definidos los polígonos se crean los planes de vuelo en los que se configura entre otras cosas la altitud a la cual se realizara la adquisición de imagen estableciendo el parámetro entre 100 y 120 m y la velocidad de vuelo. El plan de vuelo es ejecutado por el vehículo bajo la supervisión del piloto a cargo de la aeronave por si es necesario la intervención en alguna maniobra. Figuras 1 y 2.



Fig. 1. Plan de vuelo
Fuente: propia del autor.

Para el procesamiento de las imágenes se precisa el uso de un software de fotometría que permita la

manipulación de imágenes RGB e imágenes multiespectrales. El software Pix4D fue el utilizado en esta ocasión, el cual permite: capturar imágenes con cualquier cámara, transformar imágenes en modelos digitales, gestionar los informes de calidad y detalles de calibración, medir distancias áreas y volúmenes y extraer datos de perfil de elevación. Por otra parte, permite calcular diferentes índices de vegetación entre ellos el NDVI, que fue el índice seleccionado para el actual trabajo.

Una vez se obtienen los ortomosaicos multiespectrales para cada una de las locaciones, se presentan las imágenes con su debida georreferenciación, además se agrupan los resultados de los porcentajes de áreas cubiertos, en siete intervalos en los cuales se categorizan los índices de vegetación de diferencia normalizada condensadas en una tabla



Fig. 2. Dron con una cámara multiespectral
Fuente: propia del autor.

3. RESULTADOS

Con el fin de calcular el tiempo de descanso de la pradera, al área identificada como altamente óptima según los datos obtenidos en la interpretación de la imagen multiespectral se aplicó la ecuación tasa anual de cambio de la superficie cubierta por diferentes coberturas (TCDC), permitiendo la identificación de tasas de crecimiento del pasto en estudio, mediante la ecuación de crecimiento poblacional exponencial con la cual se hace la proyección del tiempo donde la pradera debe permanecer sin actividad de pastoreo.

3.1 Interpretación del primer sobrevuelo.

Se llevó a cabo el primer levantamiento multiespectral en una parcela preseleccionada en el municipio de Pamplona, ubicado en el departamento de Norte de Santander. El propósito de este

levantamiento fue identificar los diferentes tipos de cobertura presentes en la zona de estudio y determinar el porcentaje de área que abarca. La información recopilada en este proceso se establece como el punto de partida para un análisis multitemporal de la evolución del pasto kykuyo. Este enfoque posibilita una visualización más clara y una comprensión mejorada de los datos a lo largo del intervalo de tiempo seleccionado. Además, la cantidad de muestras definidas en este levantamiento multiespectral es crucial para la interpretación de la evolución de la cobertura, lo cual garantiza un análisis más preciso y una interpretación más completa de los datos recopilados. En la figura 3 se observa una imagen Ortomosaico del área correspondiente al predio.



Fig. 3. Ortomosaico del predio.
Fuente: propia del autor

Con la información de las bandas infrarrojo y rojo se genera un ortomosaico multiespectral basado en el índice de vegetación normalizada (NDVI), el cual es generado por la normalización de las bandas espectrales mencionadas anteriormente.

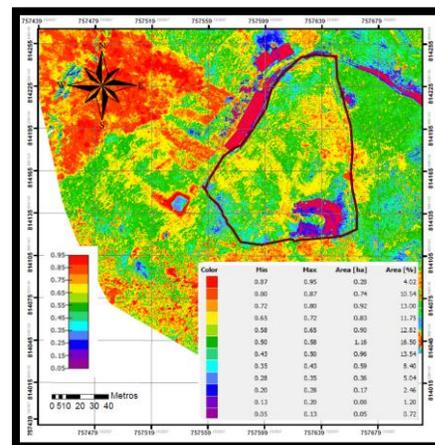


Fig. 4. Ortomosaico Multiespectral del predio.
Fuente: propia del autor

Los valores del índice están comprendidos entre -1 y 1, en la interpretación del índice los valores cercanos a 1 se consideran áreas con mayor cantidad de biomasa y los valores cercanos a cero se interpretan como zonas sin cobertura presente, por ultimo los valores inferiores a cero son categorías de posible huella hídrica, roca o zonas sin información.

Tabla 1: Clasificación de las coberturas identificadas

| Categoría | Intervalo de NDVI | | Área (%) Primer Sobrevuelo |
|--|-------------------|-------|----------------------------------|
| | Min | Max | |
| Altamente Óptima | 0,75 | 1,00 | 14,60 |
| Óptima | 0,50 | 0,75 | 54,10 |
| Baja Cobertura de Vegetación | 0,25 | 0,50 | 27,00 |
| Cero Cobertura de Vegetación | 0,00 | 0,25 | 4,40 |
| Cero Cobertura (Posible Huella Hídrica) | -0,30 | 0,00 | 0,00 |
| Cero Cobertura (Rocas) | -0,60 | -0,30 | 0,00 |
| Nulo | -1,00 | -0,60 | 0,00 |

El análisis realizado posibilitó la clasificación del 68,7% del área, indicando una cobertura alta de pasto verde que resulta idóneo para la alimentación del ganado. Del mismo modo, el 27% del territorio estudiado se relaciona con pasto verde de cobertura reducida, probablemente debido a procesos de regeneración del forraje tras el pastoreo del ganado o en fases fenológicas tempranas. La interpretación del índice NDVI sugiere que este porcentaje también podría representar áreas de pasto seco, indicativas de estrés hídrico o un estado fitosanitario intermedio debido a la presencia de plagas o enfermedades. Finalmente, el análisis reveló que el 4,4% del área consiste en suelos desnudos.

3.2 Interpretación del segundo sobrevuelo.

Como previamente indicado, se llevó a cabo un segundo levantamiento multispectral en la misma parcela, con un lapso de un mes con respecto al primer sobrevuelo. El propósito principal es identificar los porcentajes de área cubierta en el momento de la adquisición de datos del material vegetal existente. Esto posibilita la evaluación de la evolución del material vegetal entre los dos sobrevuelos realizados. En las figuras 5 y 6, se muestran los ortomosaicos resultantes del procesamiento de las imágenes multispectrales.

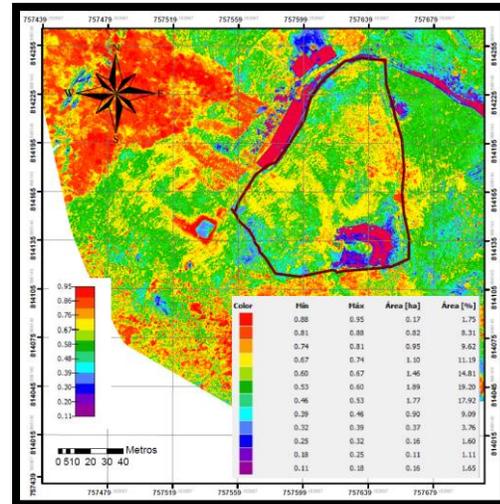


Fig. 5. Ortomosaico espectral segundo sobrevuelo
Fuente: propia del autor

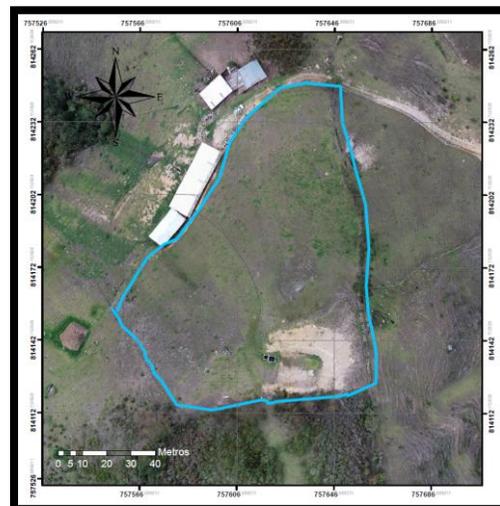


Fig. 6. Ortomosaico del predio segundo sobrevuelo
Fuente: propia del autor

Basados en la recalificación del índice NDVI se identificó el área porcentual de las coberturas presentes en la zona de estudio, los cuales se presentan a continuación en la tabla 2

Tabla 2: Clasificación de los intervalos de NDVI del predio

| Categoría | Intervalo de NDVI | | Área (%) Segundo Sobrevuelo |
|-------------------------------------|-------------------|------|-----------------------------------|
| | Min | Max | |
| Altamente Óptima | 0,75 | 1,00 | 19,68 |
| Óptima | 0,50 | 0,75 | 45,20 |
| Baja Cobertura de Vegetación | 0,25 | 0,50 | 32,37 |

| Categoría | Intervalo de NDVI | | Área (%) Segundo Sobrevuelo |
|---|-------------------|-------|-----------------------------------|
| | Min | Max | |
| Cero Cobertura de Vegetación | 0,00 | 0,25 | 2,76 |
| Cero Cobertura (Posible Huella Hídrica) | -0,30 | 0,00 | 0,00 |
| Cero Cobertura (Rocas) | -0,60 | -0,30 | 0,00 |
| Nulo | -1,00 | -0,60 | 0,00 |

El análisis realizado posibilitó la clasificación del 64,68% del área, indicando una cobertura alta de pasto verde que resulta idóneo para la alimentación del ganado. Del mismo modo, el 32,37% del territorio estudiado se relaciona con pasto verde de cobertura reducida, probablemente debido a procesos de regeneración del forraje tras el pastoreo del ganado o en fases fenológicas tempranas. La interpretación del índice NDVI sugiere que este porcentaje también podría representar áreas de pasto seco, indicativas de estrés hídrico o un estado fitosanitario intermedio debido a la presencia de plagas o enfermedades. Finalmente, el análisis reveló que el 2,76% del área consiste en suelos desnudos.

3.3 Comportamiento de las coberturas.

La evolución de las coberturas del área de estudio dentro de la ventana de tiempo entre el primero y segundo levantamientos multiespectrales, de los datos obtenidos se interpreta que la cobertura altamente óptima presenta una ganancia de 508 m², en la cobertura óptima se presenta una pérdida de 890 m², en el área identificada como baja cobertura presenta una ganancia de 537 m², por último las zonas donde no se identifica ningún tipo de cobertura vegetal presenta una pérdida de 164 m²

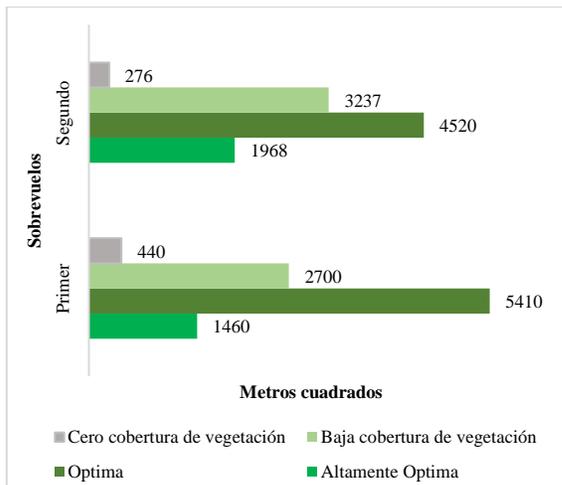


Fig. 7. Comportamiento cobertura vegetal

3.4 Interpretación del tercer sobrevuelo.

Con la tercera toma multiespectral se robustece los datos para la identificación de la evolución del material vegetal, la cual se desarrolla un mes después de la segunda toma, En las figuras 8 y 9, se muestran los ortomosaicos resultantes del procesamiento de las imágenes multiespectrales.

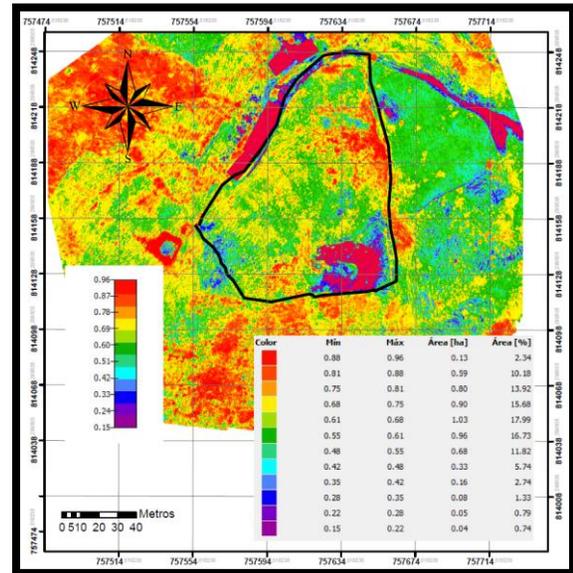


Fig. 8. Ortomosaico multiespectral tercer sobrevuelo. Fuente: propia del autor

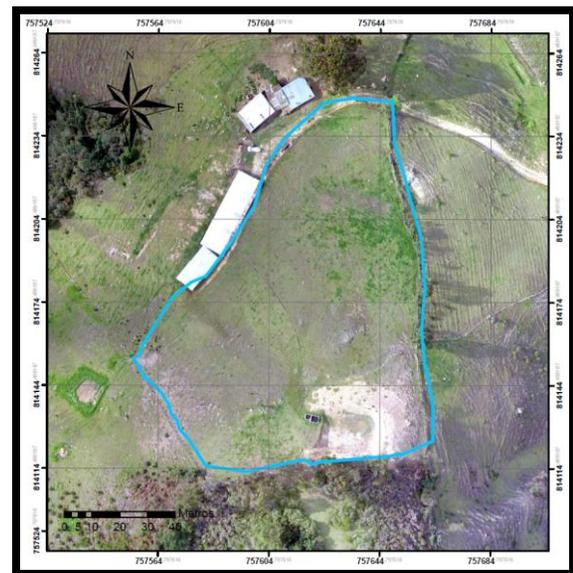


Fig. 9. Ortomosaico predio tercer sobrevuelo Fuente: propia del autor

Basados en la recalificación del índice NDVI se identificó el área porcentual de las coberturas presentes en la zona de estudio, los cuales se presentan a continuación en la tabla 3

Tabla 3: Clasificación de los intervalos de NDVI del predio en tercer sobrevuelo

| Categoría | Intervalo de NDVI | | Área (%) Tercer Sobrevuelo |
|---|-------------------|-------|----------------------------|
| | Min | Max | |
| Altamente Óptima | 0,75 | 1,00 | 26,44 |
| Óptima | 0,50 | 0,75 | 62,22 |
| Baja Cobertura de Vegetación | 0,25 | 0,50 | 9,81 |
| Cero Cobertura de Vegetación | 0,00 | 0,25 | 1,53 |
| Cero Cobertura (Posible Huella Hídrica) | -0,30 | 0,00 | 0,00 |
| Cero Cobertura (Rocas) | -0,60 | -0,30 | 0,00 |
| Nulo | -1,00 | -0,60 | 0,00 |

El análisis realizado permitió la clasificación del 88,66% del área, indicando una cobertura alta de pasto verde que resulta idóneo para la alimentación del ganado. Del mismo modo, el 9,81% del territorio estudiado se relaciona con pasto verde de cobertura reducida, probablemente debido a procesos de regeneración del forraje tras el pastoreo del ganado o en fases fenológicas tempranas. La interpretación del índice NDVI sugiere que este porcentaje también podría representar áreas de pasto seco, indicativas de estrés hídrico o un estado fitosanitario intermedio debido a la presencia de plagas o enfermedades. Finalmente, el análisis reveló que el 1,53% del área consiste en suelos desnudos.

3.5 Comportamiento de las coberturas.

La evolución de las coberturas del área de estudio dentro de la ventana de tiempo entre el segundo y tercer levantamientos multispectrales, de los datos obtenidos se interpreta que la cobertura altamente óptima presenta una ganancia de 676 m², en la cobertura óptima se presenta una ganancia de 1702 m², en el área identificada como baja cobertura presenta una pérdida de 2256 m², por último las zonas donde no se identifica ningún tipo de cobertura vegetal presenta una pérdida de 123 m²

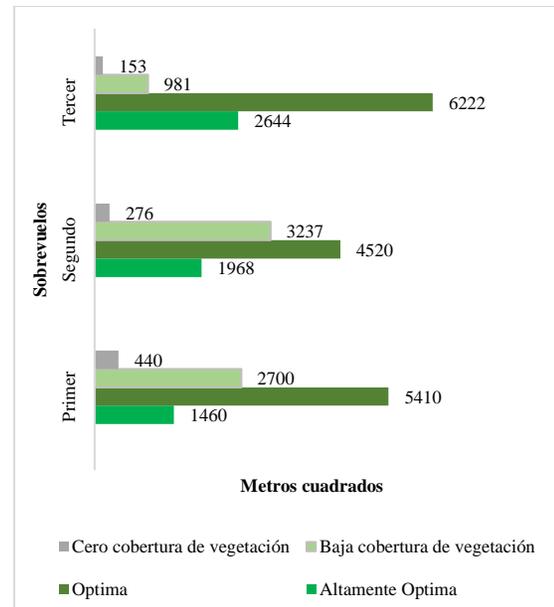


Fig. 10. Comportamiento cobertura vegetal desde el primero a tercer sobrevuelo

Fuente: propia del autor

De lo descrito anteriormente se puede interpretar que la pradera se encuentra en un proceso de regeneración, lo cual es evidenciado por la pérdida de las categorías con menor presencia de biomasa y la ganancia de la cobertura con mayor forraje, se puede calcular una tasa de crecimiento diario de 1.14%, determinado que en la pradera para reestablecer la cobertura altamente óptima en su totalidad desde la toma del tercer levantamiento multispectral será de 116 días aproximadamente.

3.6 Interpretación del cuarto sobrevuelo.

Finalmente se desarrolla el cuarto sobrevuelo según lo planificado con una ventana de tiempo de un mes entre el sobrevuelo anterior, donde se pudo consolidar la información requerida cuyo objetivo fue la identificación de los porcentajes de área de cada cobertura presente en la zona de estudio, permitiendo visualizar con mayor precisión la evolución de las coberturas y la proyección de tiempo de restablecimiento de la pradera.

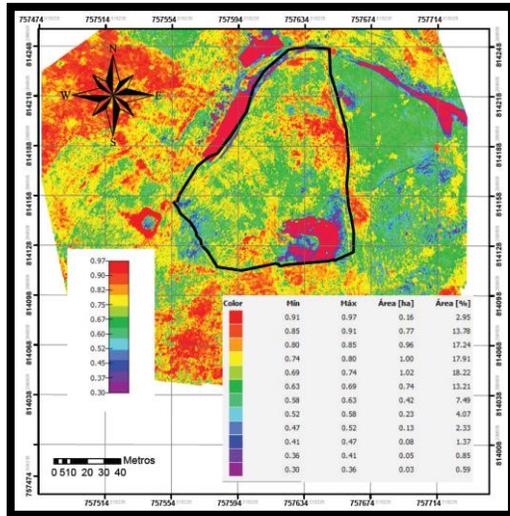


Fig. 11. Ortomosaico multispectral cuarto sobrevuelo. Fuente: propia del autor

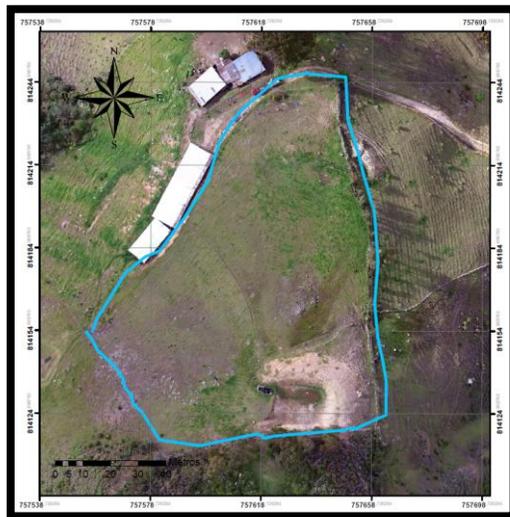


Fig. 12. Ortomosaico del predio cuarto sobrevuelo Fuente: propia del autor

Basados en la recalificación del índice NDVI se identificó el área porcentual de las coberturas presentes en la zona de estudio, los cuales se presentan a continuación en la tabla 4

Tabla 4: Clasificación de los intervalos de NDVI del predio en cuarto sobrevuelo

| Categoría | Intervalo de NDVI | | Área (%) Cuarto Sobrevuelo |
|------------------------------|-------------------|------|----------------------------------|
| | Mín | Max | |
| Altamente Óptima | 0,75 | 1,00 | 51,88 |
| Óptima | 0,50 | 0,75 | 42,99 |
| Baja Cobertura de Vegetación | 0,25 | 0,50 | 5,14 |

| Categoría | Intervalo de NDVI | | Área (%) Cuarto Sobrevuelo |
|---|-------------------|-------|----------------------------------|
| | Min | Max | |
| Cero Cobertura de Vegetación | 0,00 | 0,25 | 0 |
| Cero Cobertura (Posible Huella Hídrica) | -0,30 | 0,00 | 0 |
| Cero Cobertura (Rocas) | -0,60 | -0,30 | 0 |
| Nulo | -1,00 | -0,60 | 0 |

El análisis realizado posibilitó la clasificación del 94,87% del área, indicando una cobertura alta de pasto verde que resulta idóneo para la alimentación del ganado. Del mismo modo, el 5,14% del territorio estudiado se relaciona con pasto verde de cobertura reducida, probablemente debido a procesos de regeneración del forraje tras el pastoreo del ganado o en fases fenológicas tempranas.

3.7 Comportamiento de las coberturas

La evolución de las coberturas del área de estudio dentro de la ventana de tiempo entre el tercero y cuarto levantamientos multispectrales, de los datos obtenidos se interpreta que la cobertura altamente óptima presenta una ganancia de 2544 m², en la cobertura óptima se presenta una pérdida de 1923 m², en el área identificada como baja cobertura presenta una pérdida de 467 m², por ultimo las zonas donde no se identifica ningún tipo de cobertura vegetal presenta una pérdida de 153 m²

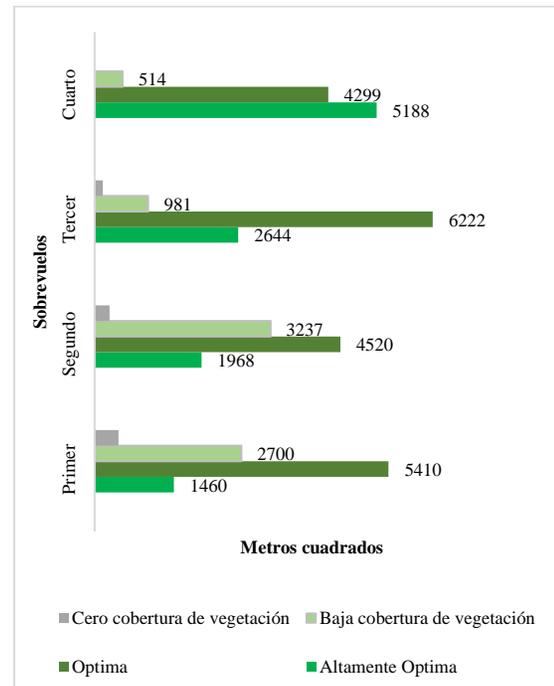


Fig. 13. Comportamiento cobertura vegetal desde el primero a cuarto sobrevuelo

De lo descrito anteriormente se puede interpretar que la pradera se encuentra en un proceso de regeneración, por el aumento en el porcentaje de área de la cobertura altamente óptima y la pérdida de área de las demás coberturas, se calcula una tasa de crecimiento diario de 3,21%, determinado que en la pradera para reestablecer la cobertura altamente óptima en su totalidad desde la toma del tercer levantamiento multiespectral será de 20 días aproximadamente.

4. CONCLUSIONES

Tomando los datos recolectados entre los cuatro levantamientos multiespectrales, se puede afirmar que el uso de imágenes multiespectrales con la normalización de las bandas del rojo e infrarrojo para la generación del índice NDVI, es un insumo adecuado en la determinación del porcentaje de área ocupada en los intervalos de reclasificación, así como, en la determinación de las coberturas, permitiendo con ello identificar el estado de regeneración de las pasturas, al igual que la determinación de la tasa de crecimiento para la proyección de los días restantes que permitan restablecer en su totalidad su aprovechamiento, optimizando la toma de decisión para un manejo adecuado.

En la ventana de tiempo transcurrida entre el primero y cuarto levantamiento espectral se identifica una tasa de crecimiento diaria del pasto de 2,84%, por lo cual el tiempo requerido para el restablecimiento de una hectárea de pasto kikuyo para su aprovechamiento es de 67,82 días, partiendo de 1460 m² de cobertura altamente óptima cuando la pradera entre en descanso, concluyendo que el tiempo de descanso es inversamente proporcional a la cantidad de área establecida en cobertura altamente óptima.

REFERENCIAS

Garbero, A., & Jäckering, L. (2021). The potential of agricultural programs for improving food security: A multi-country perspective. *Global Food Security*, 29, 100529.

- Cordero, E., Longchamps, L., Khosla, R., & Sacco, D. (2020). Joint measurements of NDVI and crop production data-set related to combination of management zones delineation and nitrogen fertilisation levels. *Data in Brief*, 28, 104968.
- Talaviya, T., Shah, D., Patel, N., Yagnik, H., & Shah, M. (2020). Implementation of artificial intelligence in agriculture for optimisation of irrigation and application of pesticides and herbicides. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 4, 58–73.
- Bwambale, E., Abagale, F. K., & Anormu, G. K. (2022). Smart irrigation monitoring and control strategies for improving water use efficiency in precision agriculture: A review. *Agricultural Water Management*, 260, 107324.
- Pelaez, D. A., Gualdron, O. E., & Torres, I. (2020). Soil characterization through remote acquisition of electromagnetic radiation. *Journal of Physics: Conference Series*, 1587(1), 12033.
- Deng, L., Mao, Z., Li, X., Hu, Z., Duan, F., & Yan, Y. (2018). UAV-based multispectral remote sensing for precision agriculture: A comparison between different cameras. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 146, 124–136.
- Eddy, I. M. S., et al. (2017). Integrating remote sensing and local ecological knowledge to monitor rangeland dynamics. *Ecological Indicators*, 82, 106–116.
- Vecchio, Y., De Rosa, M., Adinolfi, F., Bartoli, L., & Masi, M. (2020). Adoption of precision farming tools: A context-related analysis. *Land Use Policy*, 94, 104481.
- Griesche, C., & Baeumner, A. J. (2020). Biosensors to support sustainable agriculture and food safety. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 128, 115906.
- Singh, P. J., & De Silva, R. (2018). Design and implementation of an experimental UAV network. In *2018 International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT)* (pp. 168–173).
- Xie, C., & Yang, C. (2020). A review on plant high-throughput phenotyping traits using UAV-based sensors. *Computers and Electronics in Agriculture*, 178, 105731.
- RadhaKrishna, M. V. V., Govindh, M. V., & Veni, P. K. (2021). A review on image processing sensor. *Journal of Physics: Conference Series*, 1714(1), 12055.

- Chuchico-Arcos, C., & Rivas-Lalaleo, D. (2021). Sensor nodes and communication protocols of the internet of things applied to intelligent agriculture. In *Applied Technologies: Second International Conference, ICAT 2020*, Quito, Ecuador, December 2–4, 2020, *Proceedings 2* (pp. 686–703).
- Whitcraft, A. K., Becker-Reshef, I., Justice, C. O., & Jarvis, I. (2022). GEO Global Agricultural Monitoring and Global Policy Frameworks. *Earth Observation and Applications for Global Agricultural Monitoring, Global Policy Frameworks*, 159–175.
- Rivera, L. B., Bonilla, B. M., & Obando-Vidal, F. (2021). Procesamiento de imágenes multiespectrales captadas con drones para evaluar el índice de vegetación de diferencia normalizada en plantaciones de café variedad Castillo. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22(1).
- Modica, G., Messina, G., De Luca, G., Fiozzo, V., & Praticò, S. (2020). Monitoring the vegetation vigor in heterogeneous citrus and olive orchards. A multiscale object-based approach to extract trees' crowns from UAV multispectral imagery. *Computers and Electronics in Agriculture*, 175, 105500.
- Fern, R. R., Foxley, E. A., Bruno, A., & Morrison, M. L. (2018). Suitability of NDVI and OSAVI as estimators of green biomass and coverage in a semi-arid rangeland. *Ecological Indicators*, 94, 16–21.
- Tang, J., Petrie, P., & Whitty, M. (2019). Low-Cost Filter Selection from Spectrometer Data for Multispectral Imaging Applications. *IFAC-PapersOnLine*, 52(30), 277–282.