

Hoja Informativa N° 139
Abril 2024

Ing. Agr. Alberto García -actividad privada-
Ing. Zoot. Pablo Barbera -Grupo producción vegetal-

ESTIMACIÓN DE BIOMASA AÉREA EN VERDEOS DE RAIGRÁS ANUAL CON MÉTODOS MANUALES Y SENSORES REMOTOS MONTADOS SOBRE DRONE

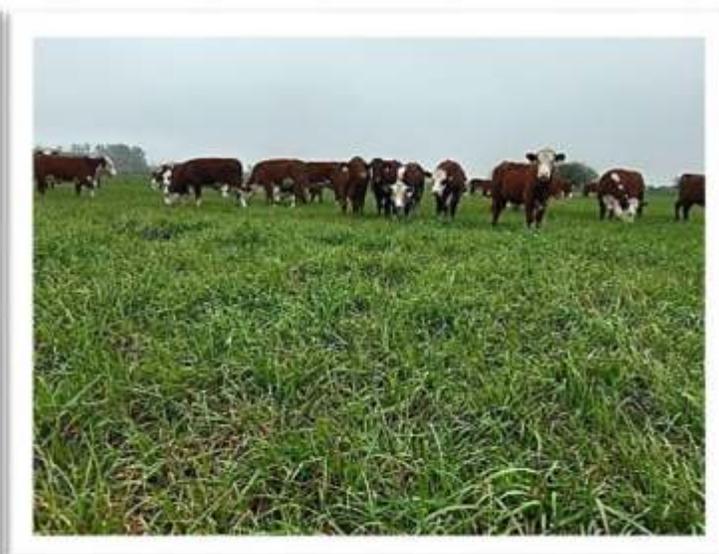
Introducción

Conocer la biomasa aérea de los recursos forrajeros es importante para el manejo del pastoreo, la evaluación de prácticas agronómicas y la identificación de ambientes. Los métodos directos de estimación de la biomasa implican realizar cortes representativos de toda el área de pastoreo. Por ello son costosos en tiempo y mano de obra, y son difíciles de implementar en superficies grandes. Existen otros métodos manuales indirectos, como las mediciones de altura con regla o con platos (pasturómetro) que son más prácticos que la medición por corte, pero que igualmente requieren recorrer el área completamente. Los sensores remotos, a través de la generación de índices de vegetación, pueden representar una alternativa de estimación de la biomasa que supera estas limitantes operativas en muchas situaciones productivas. Si bien la utilización de sensores remotos para cuestiones agronómicas ha comenzado hace más de 50 años, su disponibilidad y aplicación directa en sistemas de producción ganaderos es incipiente en el centro sur de Corrientes.

Los principales recursos forrajeros implantados en la región centro sur de Corrientes son las pasturas estivales y los verdeos de invierno. En el presente trabajo se hará énfasis sobre el uso de sensores remotos montados sobre drone o en dispositivo manual para estimar biomasa aérea en verdeos de raigrás anual.

Objetivos:

1. Comparar métodos manuales y sensores remotos montados en un drone para estimar la biomasa forrajera en verdeos de raigrás anual.
2. Generar mapas detallados de biomasa aérea en verdeos de raigrás anual a partir de índices de vegetación, registrados con sensores remotos montados en un drone.



Materiales y métodos

Para cumplir con el objetivo 1, se realizaron mediciones en verdeos de invierno de raigrás anual en la EEA INTA Mercedes y en el establecimiento Santa Clara y Yuquerí, durante la campaña 2023. Se comparó la biomasa aérea determinada por corte con 3 métodos de estimación manuales y 3 índices de vegetación obtenidos de sensores remotos montados sobre un dron (vehículo aéreo no tripulado. Cuadro 1). En la EEA Mercedes se realizaron mediciones en 3 fechas, correspondientes al período pre-pastoreo (30-mayo), rebrote vegetativo (3-julio) y estado reproductivo (5-octubre), en un lote de 10 has. En Santa Clara y Yuquerí se realizaron determinaciones en pre-pastoreo (31-mayo) en 2 lotes, y en estado reproductivo en 1 lote (9-octubre). Estos lotes tuvieron entre 22 y 35 has, pero se utilizaron para las mediciones áreas de 1 a 2 has con suficiente heterogeneidad como para hacer las evaluaciones.

Cuadro 1. Métodos indirectos evaluados, para estimación de biomasa aérea en verdeos de raigrás. Mercedes, Corrientes, campaña 2023.

Métodos evaluados	
Manuales	Sensores remotos (dron)
Regla	NDVI
Pasturómetro	NDRE
NDVI (Greenseeker)	SAVI

NDVI: normalized deviation of vegetation index, NDRE: normalized difference red edge index, SAVI: Soil adjusted vegetation index.

En cada sitio y fecha de muestreo, se colocaron entre 15 y 40 puntos de medición, que consistieron en cuadros de 1 m² formados con varillas de madera. Entre las 11 y 14 hs del día, se realizó un vuelo con dron (Phantom 4 Pro) para determinar en cada cuadro el valor de los índices ya mencionados. Para realizar esta tarea se necesitó que el cielo esté despejado de nubes y haya poco viento. El sensor montado sobre el dron fue una Camara Multiespectral Micasense. Al finalizar esta tarea, se procedió a realizar las mediciones manuales, primero se determinó NDVI con greenseeker, luego se midió altura con regla y posteriormente con pasturómetro. Todas estas mediciones en el centro de cada cuadro. Al finalizar las estimaciones manuales, se cortó al ras del suelo (2 cm de altura) un cuadro de 0,25 m² en el centro de cada punto de medición. Cada muestra se colectó en bolsas para su peso en verde y posterior secado en estufa. El valor en seco de cada muestra se multiplicó por 40 para obtener la biomasa aérea en kg MS/ha.



Una vez obtenida la información de campo, se estableció la relación entre los valores de cada parámetro con la biomasa aérea medida por corte. Para cada variable se determinó si el ajuste era mejor con una regresión lineal o exponencial. El nivel de eficiencia del método de estimación se determinó por medio del R^2 de la ecuación de regresión correspondiente. Se consideró excelente un ajuste de $R^2 > 90$, bueno $90 > R^2 > 80$, $80 > R^2 > 70$ aceptable y $R^2 < 70$ insuficiente. También se calculó el cuadrado medio de error (CME) de cada modelo de estimación por índices de vegetación con dron, lo cual da una idea de la capacidad de uso de los modelos de acuerdo con cada objetivo. Por ejemplo para manejo del pastoreo, el CME debería ser menor a 200 kg MS/ha en condiciones de estado vegetativo.

Para cumplir con el objetivo 2, se consideraron situaciones con buen ajuste ($R^2 > 80$) entre un índice de vegetación y la biomasa aérea, y se generaron mapas de biomasa aérea a partir de un mosaico de imágenes tomadas con dron.

Resultados

Ajuste de los métodos de estimación

Los métodos de estimación con regla y pasturómetro tuvieron un ajuste bueno o excelente en casi todas las situaciones, ya sea en estado vegetativo o reproductivo (Cuadro 2). El ajuste fue insuficiente sólo en la medición de rebrote vegetativo, lo cual puede relacionarse más con la homogeneidad que tenía el lote, que a un problema del método de estimación (la mayoría de las muestras tuvo entre 200 y 400 kg MS/ha. Figura 1, Cuadro 3). El NDVI determinado con sensor de mano tuvo un ajuste de aceptable a excelente en todas las situaciones de pre-pastoreo. En el rebrote vegetativo tuvo un ajuste insuficiente, posiblemente debido a las mismas razones referidas a los otros métodos manuales (homogeneidad del lote). En estado reproductivo, el ajuste fue insuficiente en ambos lotes medidos.

Cuadro 2. Coeficientes de ajuste (R^2) de 3 variables manuales y 3 remotas (drone) con la biomasa aérea de raigrás, en 2 sitios (EEA Mercedes y Ea. Santa Clara y Yuquerí) y 3 estados fenológicos (vegetativo pre pastoreo y rebrote, y reproductivo). Campaña 2023.

		Método	Manual			Drone		
Estado fenológico		Sitio	Regla	Pasturom	NDVI	NDVI	NDRE	SAVI
Vegetativo	Pre pastoreo	EEA Mercedes	0,91	0,85	0,82	0,76	0,66	0,82
		Yuquerí promoción	0,90	0,84	0,84	0,86	0,89	0,86
		Yuquerí siembra	0,86	0,84	0,71	0,44	0,42	0,44
	Rebrote	EEA Mercedes	0,66	0,65	0,64	0,65	0,90	0,65
Reproductivo		EEA Mercedes	0,83	0,85	0,56	0,58	0,80	0,58
		Yuquerí promoción	0,84	0,79	0,42	0,52	0,48	0,52
Ecuación de ajuste con la biomasa			Lineal			Exponencial		

Con respecto al ajuste de los sensores montados sobre drone, en la EEA Mercedes en pre-pastoreo hubo un ajuste superior con SAVI y NDVI, versus NDRE. En Santa Clara Yuquerí en uno de los lotes (promoción) el ajuste fue bueno con todos los índices, mientras que en el otro lote (siembra) el ajuste fue insuficiente. Este lote tuvo valores altos en los índices en algunos puntos de medición con poco raigrás y mucho suelo desnudo. Esto puede deberse a que en este lote las mediciones comenzaron un poco más temprano que lo recomendable. También se trató de un lote con mucha humedad y presencia de algas verdes en la superficie del suelo, lo que puede haber introducido un error en la medición. A pesar de estos inconvenientes, el cuadrado medio de error en condiciones de pre-pastoreo fue siempre inferior a 200 kg MS/ha (Cuadro 3), lo cual permite generar mapas de biomasa lo suficientemente precisos como para manejar el pastoreo. Para la condición de rebrote vegetativo, que sólo se evaluó en la experimental de Mercedes, el índice NDRE fue el más preciso (Cuadro 2) y el cuadrado medio de error también fue menor a 200 kg MS/ha con todos los índices (Cuadro 3).

En estado reproductivo, ninguno de los índices de vegetación tuvo buen ajuste, salvo NDRE en el lote de la EEA Mercedes (Cuadro 2). En este caso, el cuadrado medio de error fue más alto que en estado vegetativo (500 kg MS/ha) pero aceptable debido al amplio rango de biomasa del lote (0-4000 kg MS/ha. Cuadro 3).

Cuadro 3. Cuadrado medio de error de 3 índices de vegetación evaluados en lotes de raigrás, en 2 sitios (EEA Mercedes y Ea. Santa Clara y Yuquerí) y 3 estados fenológicos (vegetativo pre pastoreo y rebrote, y reproductivo). Campaña 2023.

		Método	Rango biomasa	Cuadrado medio de error (kg MS/ha)		
Estado fenológico		Sitio	Kg MS/ha	NDVI	NDRE	SAVI
Vegetativo	Pre pastoreo	EEA Mercedes	0-1100	82	168	80
		Yuquerí promoción	0-1200	164	157	168
		Yuquerí siembra	0-700	144	154	144
	Rebrote	EEA Mercedes	0-700	117	86	116
Reproductivo		EEA Mercedes	0-4000	736	508	736
		Yuquerí promoción	0-4200	1066	1121	1066

Con respecto al tipo de relación entre las variables registradas y la biomasa, los métodos manuales regla y pasturómetro tuvieron un mejor ajuste con ecuaciones lineales. Para los índices de vegetación, en todos los casos el ajuste fue mejor con relaciones exponenciales. Esto se relaciona con la naturaleza de los índices, los cuales estiman la proporción de la radiación que es absorbida por los tejidos verdes de las plantas. La radiación que puede ser absorbida tiene un umbral, a partir del cual por más que se incremente la biomasa vegetal, la radiación absorbida no se incrementa. En los dos tipos de sensor (de mano o drone), la saturación del NDVI se dio en valores de biomasa aérea cercanos a los 800 kg MS/ha para la situación de pre-pastoreo. El valor de NDVI al que se logra la saturación fue diferente en cada sensor, en el drone fue cercano a 0,80 y en el sensor de mano cercano a 0,85. Estos valores de saturación son inferiores a los registrados en pasturas en otras regiones (Insúa et al, 2019) y en los registrados en esta experiencia en la etapa reproductiva (Figura 1). No obstante, el rango en donde el método es eficiente (de 0 a 1000 kg MS/ha) es el más relevante en la etapa vegetativa, ya que en nuestra región la biomasa ideal para comenzar el pastoreo es entre 800 y 1000 kg MS/ha. Por lo que mapas de biomasa generados en mayo y junio en verdeos de raigrás, podrían ayudar en la toma de decisiones de cuándo comenzar el pastoreo, en qué parte del lote y qué carga animal utilizar.

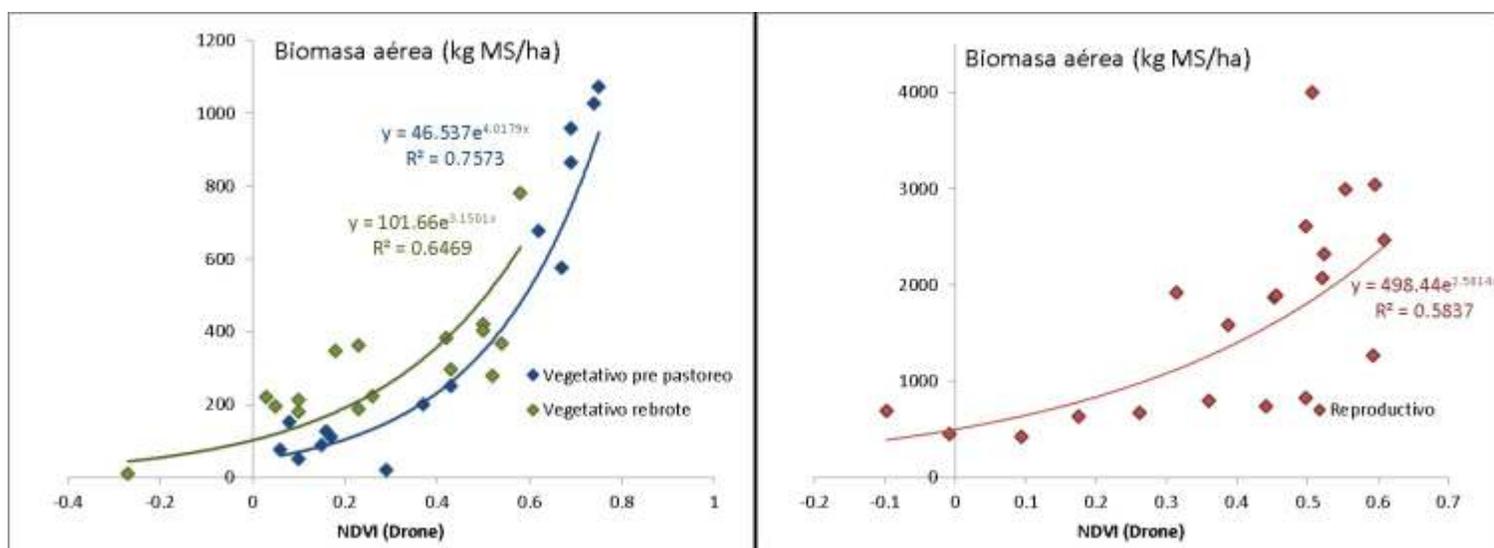
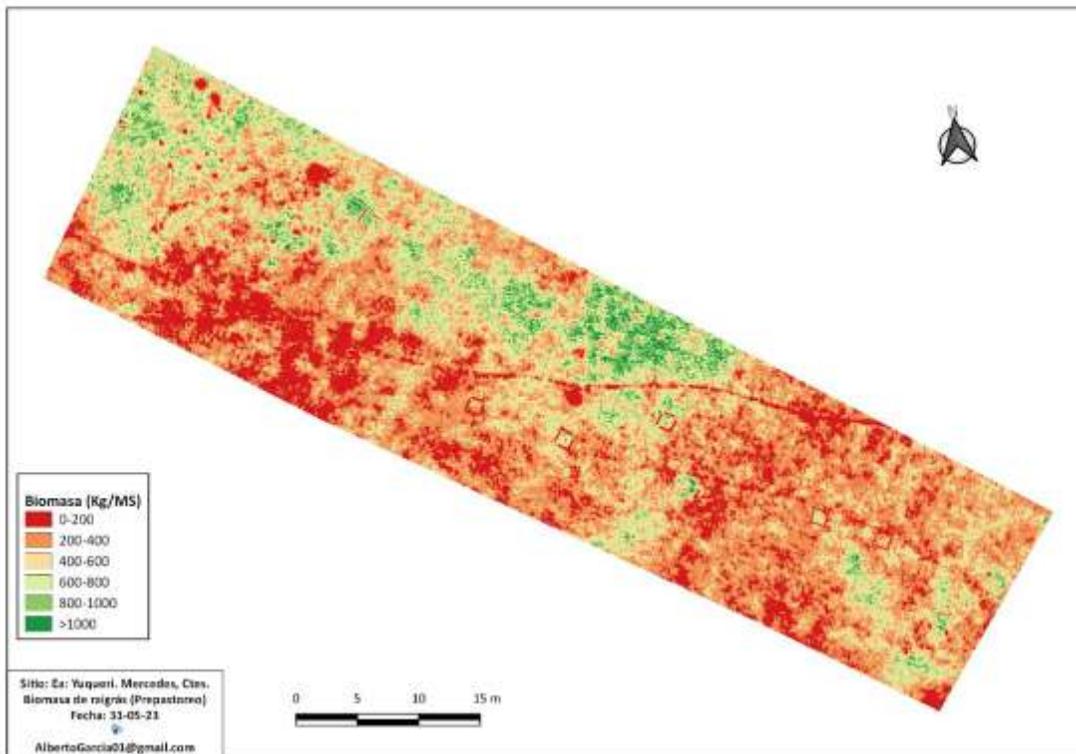


Figura 1. Relación entre el NDVI registrado con un sensor montado en un drone con la biomasa aérea de raigrás en 3 estados fenológicos: vegetativo en pre pastoreo y rebrote (izquierda) y reproductivo (derecha). EEA INTA Mercedes, campaña 2023.

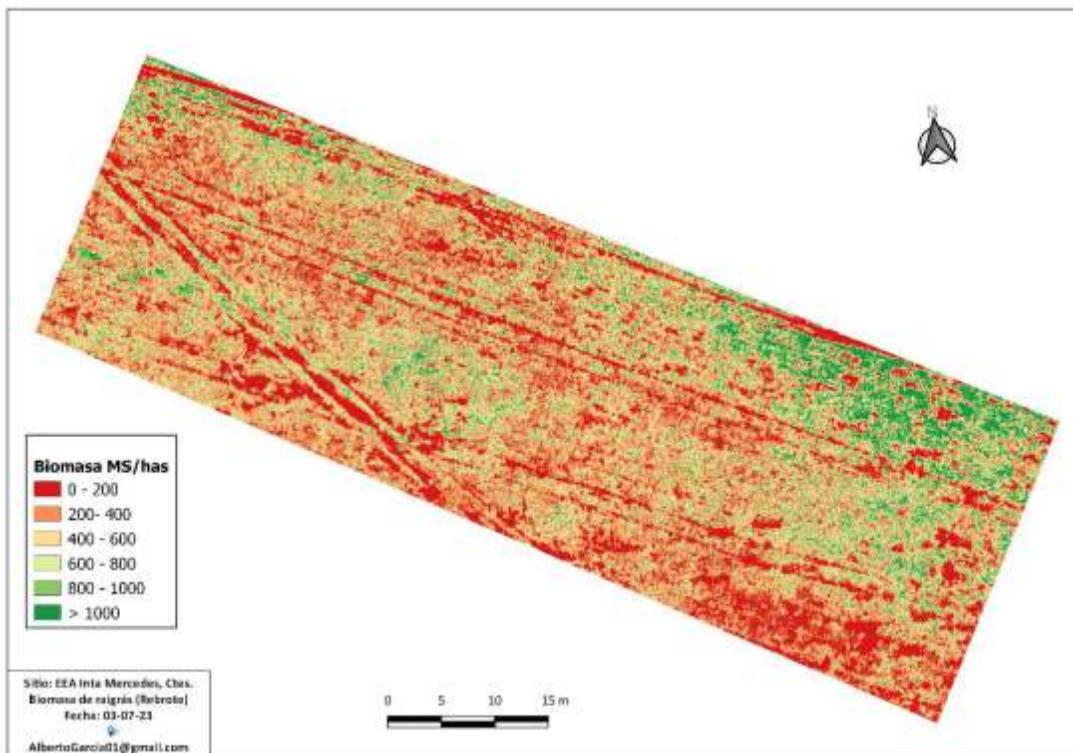
Generación de mapas de biomasa

El buen ajuste que se logró con algunos índices obtenidos con drone, permitió realizar mapas de biomasa de verdeos de raigrás en distintas situaciones productivas (Figura 2). El índice utilizado para generar los mapas fue el NDRE, que fue el que mejor ajustó en cada situación. La escala de los mapas es chica pero de gran precisión, lo cual puede ser útil para evaluar prácticas agronómicas como la fertilización. Para manejo del pastoreo deberían generarse mapas de mayor extensión (nivel potrero o conjunto de potreros), para los cuales la única limitante sería la autonomía del drone.

A



B



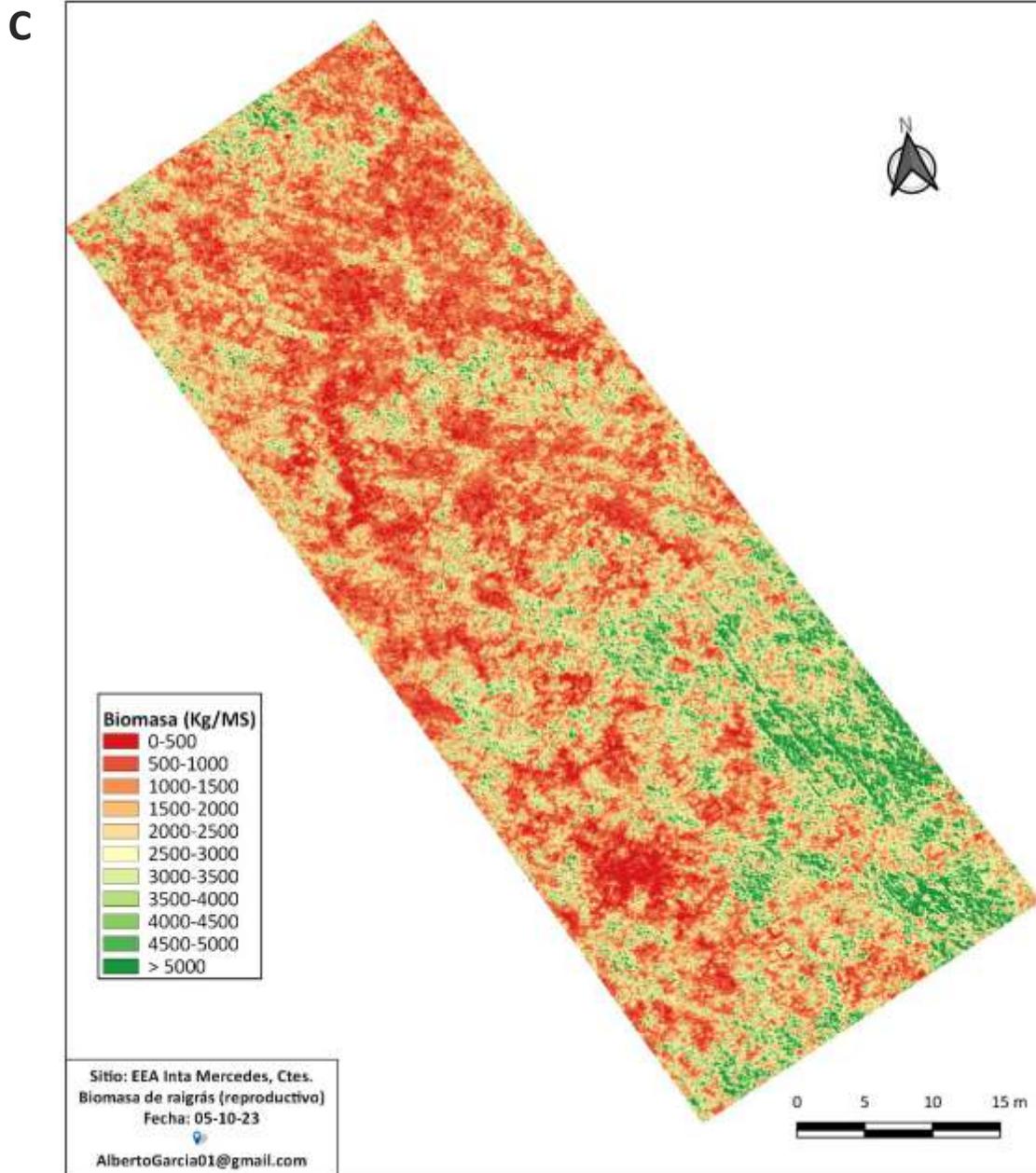


Figura 2. Mapas de biomasa de verdeos de raigrás anual generados a partir de índices de vegetación en 3 situaciones: A) Prepastoreo. B) Rebrote vegetativo. C) Reproductivo. EEA INTA Mercedes y Est. Santa Clara y Yuquerí, campaña 2023.

Comentarios finales

Los índices de vegetación obtenidos con dron tienen similar capacidad de estimación de la biomasa que métodos manuales en la mayoría de las situaciones medidas en verdeos. El índice NDRE es uno de los más versátiles, aunque en pre-pastoreo y con presencia de suelo desnudo puede ser superado por NDVI o SAVI. La medición de la altura, ya sea con regla o pasturómetro, es un método muy fiable para determinar biomasa aérea de verdeos en cualquier situación.

Contar con índices de vegetación obtenidos con dron con buen ajuste para estimar biomasa aérea, permite registrar en detalle la heterogeneidad de lotes de verdeos y generar mapas muy precisos. Otra ventaja de este método es que es muy objetivo, al no haber variaciones de mediciones entre operarios.

Hay que continuar realizando observaciones para distintos momentos, sitios e incluso otros recursos forrajeros, y analizar la precisión de los índices de vegetación generados con drones para generar mapas de biomasa.

Bibliografía

Insua, J.R., Utsumi, S.A., Basso, B. (2019) Estimation of spatial and temporal variability of pasture growth and digestibility in grazing rotations coupling unmanned aerial vehicle (UAV) with crop simulation models. PLoS ONE 14(3): e0212773. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212773>

Agradecimientos

Al Tec. Agr. Maximiliano Noguera (INTA Mercedes) y al Lic. Adm. Agrop. Julio Benítez (INTA Mercedes) por la colaboración en las mediciones de campo.

Al Ing. Guillermo Simón y la empresa Santa Clara y Yuquerí SA por facilitar para la realización de las mediciones los lotes de raigrás anual del establecimiento.

Al Dr. Juan Insúa (UNMP) y al Dr. Martín Durante (INTA Concepción del Uruguay) por la revisión y los aportes para mejorar la calidad del informe.