



## **Innovación para la gestión del pasto, ATN/RF-18077-RG**

### **Producto 7. Nota técnica: Protocolo para el uso de drones en la estimación de pasto**

**Juan Insua, Celina Laplacette, Germán Berone, Santiago Utsumi  
2024**



Códigos JEL: Q16

ISBN:

FONTAGRO (Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria) es un mecanismo único de cooperación técnica entre países de América Latina, el Caribe y España, que promueve la competitividad y la seguridad alimentaria. Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), FONTAGRO, de sus Directorios Ejecutivos ni de los países que representan.

El presente documento ha sido preparado por Insua, J.R.<sup>12</sup>; Laplacette, C.M.<sup>123</sup>; Berone, G.D.<sup>13</sup> Utsumi, S.A.<sup>4</sup> <sup>1</sup>Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Balcarce, Argentina, <sup>2</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Buenos Aires, Argentina, <sup>3</sup>Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Balcarce, Argentina, <sup>4</sup>Michigan State University, United States of America.

Copyright © 2024 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial- SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas. Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional. Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Esta publicación puede solicitarse a:

**FONTAGRO**

Correo electrónico: [fontagro@fontagro.org](mailto:fontagro@fontagro.org)

[www.fontagro.org](http://www.fontagro.org)



# Tabla de Contenidos

## CONTENIDO

<b>REsumen</b> .....	<b>6</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>7</b>
<b>Resumen EJECUTIVO</b> .....	<b>8</b>
<b>Palabras Clave:</b> .....	<b>8</b>
<b>Glosario</b> .....	<b>9</b>
Propuesta .....	11
Etapas .....	11
Esquema .....	12
<b>A. Definición de áreas de calibración (Etapa a campo)</b> .....	<b>13</b>
1. Definición de áreas de calibración (AC) .....	13
2. Marcar e identificar áreas de calibración (AC) .....	14
3. Medición de áreas de calibración (AC) .....	15
<b>B. Desarrollo de mapa multiespectral de plataforma de pastoreo</b> .....	<b>17</b>
1. Instalar WebODM .....	17
2. Crear un nuevo proyecto, .....	18
3. Crear ortomosaico. ....	18
<b>C. Desarrollo de mapa NDVI de plataforma de pastoreo</b> .....	<b>20</b>
1. Cargar en QGIS el mosaico de vuelo generado como imagen .TIFF (Etapa B). ....	20
2. Crear polígono de plataforma de pastoreo .....	21
3. Reducir la capa ráster del vuelo a solo la plataforma de pastoreo .....	22



4.	Desarrollar una capa ráster con valores del índice NDVI de la plataforma de pastoreo	22
5.	Ajustar escala de color en mapa .....	25
6.	Enmascarar errores de calibración fijando límites para el rango de índice NDVI .....	26
<b>D.</b>	<b>Determinación de NDVI promedio por AC .....</b>	<b>27</b>
1.	Crear polígonos de los AC .....	27
2.	Crear capa ráster NDVI para cada AC.....	28
3.	Cálculos estadísticos por AC.....	28
<b>E.</b>	<b>Desarrollo de curva de calibración .....</b>	<b>30</b>
1.	Diseño de planilla .....	30
2.	Ajuste de curva de calibración .....	30
<b>F.</b>	<b>Desarrollo mapa disponibilidad de pasto .....</b>	<b>32</b>
1.	Crear polígonos de potreros .....	32
2.	Agrupar los potreros con mismo recurso.....	33
3.	Identificar los potreros en el mapa de índice NDVI .....	34
4.	Desarrollar capas ráster con valores de disponibilidad de pasto por potrero o recurso.	34
5.	Crear mapa de disponibilidad de pasto de plataforma de pastoreo. ....	35
6.	Cálculos estadísticos por potrero o campo .....	35
<b>G.</b>	<b>Determinación de disponibilidad de pasto por parcela .....</b>	<b>37</b>
1.	Identificar un área específica como polígono .....	37
2.	Identificar el área seleccionada en el mapa de disponibilidad de pasto.....	37
3.	Calcular valor promedio de disponibilidad de pasto del área seleccionada .....	38
<b>Conclusiones y recomendaciones.....</b>		<b>40</b>
<b>Referencias Bibliográficas .....</b>		<b>41</b>
<b>Instituciones participantes.....</b>		<b>43</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de trabajo propuesto por el equipo.....	12
Figura 2: Áreas de calibración (AC) identificadas a lo largo de la plataforma de pastoreo para una determinada fecha de monitoreo de pasturas mediante empleo de un dron comercial.....	15
Figura 3: Interfaz de inicio WebODM .....	18
Figura 4: Interfaz para crear nuevo proyecto .....	18
Figura 5: Imagen en QGIS con carga de vuelo generado en imagen.....	21
Figura 6: Interfaz para desarrollar una capa ráster con valores NDVI.....	23
Figura 7: Ingreso de fórmulas para generación de capa ráster.....	24
Figura 8: Visualización de capa ráster con el mapa NDVI en escala de grises.....	25
Figura 9: Imagen .TIFF con el mapa de NDVI de toda la plataforma de pastoreo.....	26



## RESUMEN

El éxito de los sistemas ganaderos de base pastoril depende de una eficiente utilización del pasto, la cual requiere de un monitoreo sistemático, preciso y repetible de la disponibilidad de pasto en cada potrero. En la práctica, esto generalmente no se realiza debido a que las técnicas “tradicionales” para estimar la cantidad adecuada de pasto (corte y pesado, estimaciones visuales, medición de altura) demandan gran cantidad de tiempo, trabajo y experiencia. En la última década, el desarrollo en tecnología de sensores ha lanzado al mercado nuevos sensores remotos multiespectrales capaces de ser acoplados a drones. Esta novedosa tecnología presenta el potencial de generar mapas de alta resolución ( $< 10$  cm) contruidos con índices de vegetación, los cuales pueden ser interpretados como indicadores de biomasa disponible. Este trabajo aborda el desarrollo de un protocolo de calibración y uso de drones, con el objetivo de mejorar la precisión y aplicación de drones en el monitoreo sistemático de los recursos forrajeros. Este protocolo, destinado a productores y/o asesores, divide los procedimientos de medición, calibración y monitoreo, integrando la toma de muestras a campo, recomendaciones de vuelo, procesamiento de imágenes y desarrollo y aplicación de ecuaciones de calibración. Se espera que la implementación exitosa de este protocolo contribuya significativamente a la mejora de la cuantificación de la oferta forrajera en granjas y ranchos, aumentando así la eficiencia de producción de los sistemas ganaderos de base pastoril.



## ABSTRACT

The success of pastoral-based livestock systems depends on the efficient utilization of pasture forages, which in turn depends on the systematic monitoring and precise and repeatable measurement of pasture availability in each field. In practice, this management process is generally overlooked because 'traditional' techniques for estimating pasture herbage mass (cutting and weighing, visual estimations, height measurements) demand considerable time, labor, and experience. This work addresses the development of a standardized protocol to successfully monitor forage resources with drones. This protocol, intended for farmers and/or advisors, is divided in seven steps, integrating procedures for field sampling, flight recommendations, image processing, and development and use of calibration equations. The successful implementation of this protocol is expected to significantly enhance the ability to quantify forage availability in farms and ranches, thereby increasing the production efficiency of pastoral-based livestock systems.



## RESUMEN EJECUTIVO

El producto del conocimiento 7, comprometido dentro de la matriz de resultados, es una nota técnica que contiene el protocolo para el uso de drones en la estimación de pasto en el campo. Según el marco lógico del proyecto, este producto corresponde a la actividad 4.2 del componente 4. En la presente nota técnica se detalla el modo de coleccionar, procesar y utilizar los datos recolectados por drones para el monitoreo remoto de pasturas a nivel de predio. Para ello se desarrolló un protocolo consensuado para la cuantificación semanal de la biomasa disponible en todos los potreros de una finca de manera tal que permita 1) minimizar el tiempo de trabajo y 2) maximizar la capturar de variabilidad espacial de la pastura. Una vez calibrado el dron (en base al producto 6 de la actividad 4.1), el protocolo describe la forma de procesar los datos recolectados para monitorear las pasturas de forma rápida y precisa con un nivel de resolución que permita visualizar la variabilidad espacial a nivel de parcela, potreros o predio. Esto hace más objetiva y repetible la estimación de biomasa, liberando personal de una rutina de trabajo semanal. Esta solución AgTech es realmente disruptiva pues permite una integración con el producto 2 de la actividad 2.2 del componente 2 para una virtual gestión de las decisiones de manejo del pastoreo, carga animal y planificación de las reservas forrajeras de toda una finca.

### **PALABRAS CLAVE:**

Innovación, monitoreo de pasturas, dron, calibración, protocolo, procesamiento de imágenes.



## GLOSARIO

**Área de calibración (AC):** superficie de pastura ( $1\text{m}^2$ ) marcada sobre el terreno para calibrar la relación entre el NDVI medido por el dron y la biomasa.

**Curva de calibración:** ajuste de regresión entre el NDVI medido por el dron y la disponibilidad de biomasa estimada en las áreas de calibración.

**Disponibilidad de biomasa:** cantidad de pasto sobre el nivel del suelo expresada en kg de materia seca por hectárea ( $\text{kg MS ha}^{-1}$ ).

**NDVI:** Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada medido mediante empleo de imágenes multispectrales colectadas por sensores.

**Ortomosaico:** producto de imagen ortorrectificada (mapa) creado por la superposición de varias imágenes tomadas con el dron.

**Parcela:** unidad de pastoreo o subdivisión del potrero, generalmente menor a 1 ha.

**Pasturómetro / plato medidor de pasto:** dispositivo utilizado para estimar de forma indirecta la disponibilidad de biomasa mediante la medición de la altura comprimida de la vegetación.

**Plataforma de pastoreo:** área de la finca con pasturas destinadas al pastoreo directo por los animales.

**Potrero:** unidad de manejo o de subdivisión física del campo mediante empleo de alambrado tradicional o eléctrico, generalmente no mayor a 20 hectáreas.



## JUSTIFICACIÓN

El éxito de los sistemas ganaderos de base pastoril implica no solo producir más pasto, sino también una eficiente utilización del mismo (Chapman, 2016). Para poder lograr ese eficiente uso del forraje a lo largo del año resulta imprescindible realizar un monitoreo sistemático (cada una o dos semanas) de la disponibilidad de pasto que hay en cada potrero del campo (Fariña et al., 2011).

La relación de la altura (cm) con los kg de materia seca (MS) de la pastura, junto con la estimación visual, ofrece una medida indirecta de la disponibilidad de pasto en el campo (Bazzo et al., 2023). Esta técnica, sin embargo, requiere esfuerzo, constancia, tiempo y experiencia para coleccionar una cantidad de muestras suficiente (n) que sea suficientemente representativa de la variación del pasto en un establecimiento (Ganguli et al., 2000; Hernández, 2023). Por este motivo, resulta imprescindible el desarrollo y calibración de técnicas que estimen la cantidad de pasto disponible de forma fácil, rápida, precisa y repetible, facilitando la toma de decisiones relativas al manejo del pastoreo, planificación de reservas forrajeras y la formulación de dietas de los animales.

En la última década, se ha avanzado en la aplicación de nuevas tecnologías para agilizar y aumentar la precisión de las estimaciones de biomasa, integrando el uso de Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), Sistemas de Información Geográficos (GIS) y sensores proximales (Cicore et al., 2019) o remotos montados en cuatriciclos (King et al., 2010) o en satélites (Cicore et al., 2016; Gargiulo et al., 2020). Más recientemente, el desarrollo en tecnología de sensores ha lanzado al mercado nuevos sensores multiespectrales de bajo costo capaces de ser acoplados a drones (Viljanen et al., 2018). Esta novedosa tecnología presenta el potencial de generar mapas de alta resolución (< 10 cm) construidos con índices de vegetación, los cuales pueden ser interpretados como indicadores de biomasa disponible (Insua et al., 2019c; Michez et al., 2019; Oliveira et al., 2020).

Este trabajo tiene por objetivo desarrollar un protocolo consensuado para la cuantificación semanal de la biomasa disponible en todos los potreros o parcelas de una finca en base a tecnología de drones, permitiendo minimizar tiempo de trabajo y maximizar la captura de la variabilidad espacial de pastura.



## FORMATO GENERAL DEL PROTOCOLO PARA LA ESTIMACIÓN DE DISPONIBILIDAD DE PASTO CON DRONES

### Propuesta

Calibrar y utilizar imágenes multiespectrales colectadas mediante el empleo de un dron para estimar la disponibilidad de biomasa aérea de pastura en parcelas manejadas bajo sistema de pastoreo rotativo.

### Etapas

- A. Definición de áreas de calibración (AC)
- B. Desarrollo de mapa espectral de plataforma de pastoreo
- C. Desarrollo de mapa de NDVI de plataforma de pastoreo
- D. Determinación del NDVI promedio por AC
- E. Desarrollo de la curva de calibración entre el NDVI y la biomasa
- F. Creación de mapa de disponibilidad de biomasa de plataforma de pastoreo
- G. Determinación de disponibilidad de biomasa por parcela

## Esquema

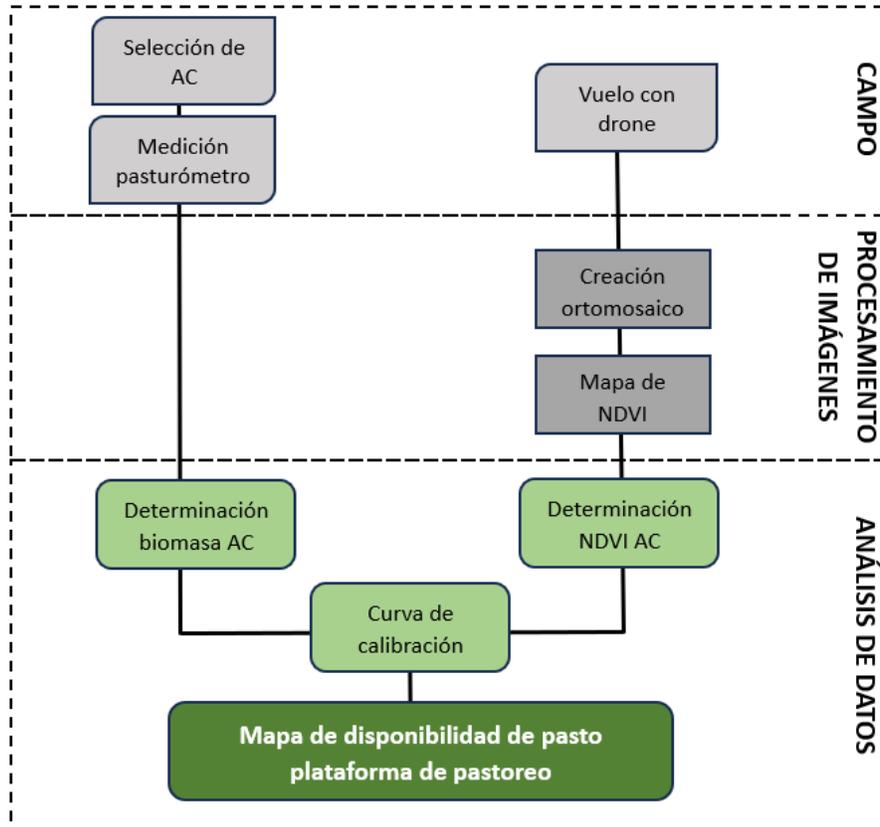


Figura 1: Esquema de trabajo propuesto por el equipo

## A. Definición de áreas de calibración (Etapa a campo)

### Objetivo específico

Marcar áreas de calibración (AC) para desarrollar la curva de calibración que transforme el valor NDVI medido por el dron en valores de disponibilidad de pasto.

### Materiales y Métodos

- ✓ 40 tarjetas de 20 por 20 cm (30 × 4) preferentemente de plástico y blancas (ej. silo bolsa).
- ✓ 40 clavos o estacas.
- ✓ Pasturómetro (plato o regla) calibrado.
- ✓ Cuchillo o tijera para cortar pasto, bolsas y tarjetas para rotular.

### Procedimiento

#### 1. Definición de áreas de calibración (AC)

En la plataforma de pastoreo seleccionar AC con niveles contrastantes de biomasa (bajo, intermedio, alto). Para ello:

- a) *marcar con tarjetas (figura 2) 10 áreas de calibración (AC) de alrededor 1 m<sup>2</sup>. El objetivo es que el conjunto de AC seleccionadas represente el rango de biomasa acumulado con el que se trabaja en la plataforma de pastoreo. Es recomendable que las AC correspondientes al máximo valor contengan ~1000 kg MS ha<sup>-1</sup> por encima del objetivo de disponibilidad de pasto pre-pastoreo.*
- b) El criterio para seleccionar las AC es que la heterogeneidad intra-AC sea baja (homogénea dentro del AC) y que la variabilidad inter-AC sea alta (diferente entre AC). Para ello, elegir cada AC tratando de que el m<sup>2</sup> de AC seleccionado sea lo más homogéneo posible.
- c) Esto debe considerarse para cada recurso o especie/mezcla de pastura. Así mismo, estos pasos son para una fecha de vuelo. El proceso debería **repetirse al menos dos o tres veces por estación.**

## 2. Marcar e identificar áreas de calibración (AC)

- a) Marcar los vértices de cada AC con 4 tarjetas blancas y anclarlas al suelo con las estacas (esto permitirá reconocer las AC en las imágenes tomadas con el dron).

**ACLARACIÓN:** La tarjeta debe quedar visible. Si existe mucha disponibilidad de pasto se recomienda recortar las hojas que caen sobre la tarjeta para asegurar su visibilidad en la imagen tomada por el dron.

- b) Identificar cada AC con su ubicación en el campo para su posterior reconocimiento durante el procesado de imágenes colectadas por el dron (Figura 2). Una manera de hacer esto, por ejemplo, puede ser enumerando de forma ascendente las AC de Norte a Sur (o Este-Oeste).

**RECOMENDACIÓN:** Colocar una bandera cerca de cada AC para facilitar su identificación en el campo.

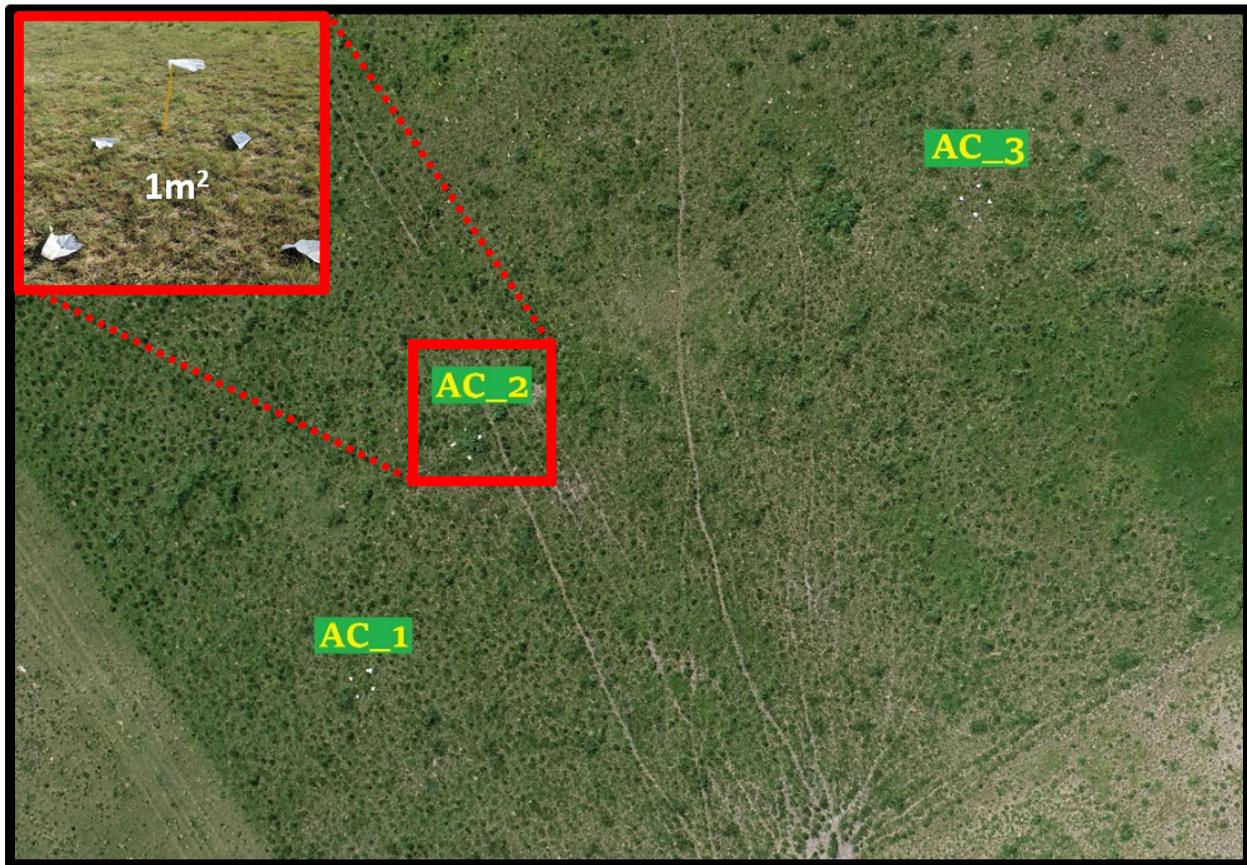


Figura 2: Áreas de calibración (AC) identificadas a lo largo de la plataforma de pastoreo para una determinada fecha de monitoreo de pasturas mediante empleo de un dron comercial.

### 3. Medición de áreas de calibración (AC)

- a) Una vez marcadas e identificadas cada una de las 10 AC se debe estimar en paralelo la disponibilidad de  $\text{kg MS ha}^{-1}$  y el valor equivalente de NDVI en cada AC. Para ello:
  - i. Primero, volar toda la zona de pastoreo para registrar el NDVI.
  - ii. Luego, con el pasturómetro calibrado, estimar la biomasa disponible ( $\text{kg MS ha}^{-1}$ ) en cada AC.

ACLARACION: Para la estimación de biomasa disponible en cada AC se emplea un pasturómetro (ej. plato o regla) previamente calibrado. Si no se cuenta con dicha referencia, se debería realizar un corte directo en cada AC para i) calibrar el uso de pasturómetro o altura



de pastura como método de estimación indirecto; y para ii) su implementación en la estimación de la disponibilidad de pasto en cada AC.

IMPORTANTE: Si se realizan cortes directos para estimar disponibilidad de pasto en cada AC es imprescindible que el vuelo con el dron se realice antes de los cortes. Si la estimación de la disponibilidad de pasto en los AC es con un pasturómetro, el vuelo puede hacerse después si ello resulta más práctico.

RECOMENDACIÓN: Si se hacen cortes directos lo ideal es cortar a nivel del suelo todo el pasto contenido en un marco (50 x 50 cm), embolsar y secar la muestra para estimar la disponibilidad en unidades de materia seca (MS) en kg MS/ha. El porcentaje de MS influye mucho en la estimación de disponibilidad de pasto por lo que es preferible secar el material para evitar supuestos de contenido de humedad o datos promedios de tablas.

## B. Desarrollo de mapa multiespectral de plataforma de pastoreo

### Objetivo específico

Obtener un ortomosaico de toda la plataforma de pastoreo con imágenes de bandas multiespectrales colectadas por el dron.

### Materiales y Métodos

- ✓ *Software: WebODM (Open Dron Map, libre acceso).*
- ✓ *Insumo: Imágenes digitales descargadas del sensor multiespectral.*
- ✓ *Producto final: Mapa ortomosaico (.TIFF) con bandas espectrales.*

### Procedimiento

1. Instalar WebODM
  - a) Seguir pasos de instalación recomendados en tutoriales:
    - ✓ <https://www.youtube.com/watch?v=LT0dYCh8pXw>
  - b) Crear usuario y contraseña.
  - c) Iniciar sesión. Automáticamente aparecerá en pantalla el tablero de comando (**dashboard**) desde donde se crearán los proyectos.

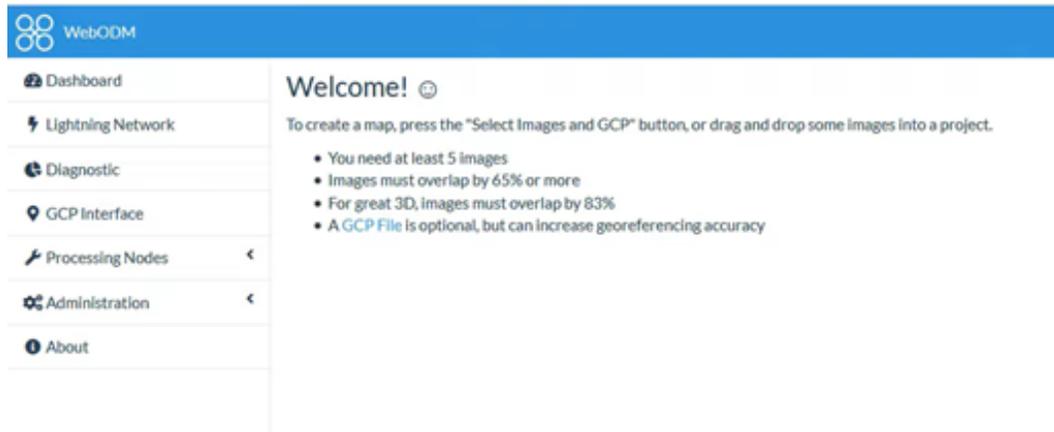


Figura 3: Interfaz de inicio WebODM

2. Crear un nuevo proyecto,
  - a) Seleccionar **“Add Project”**.
  - b) Ingresar descripciones del proyecto (lugar, número de vuelo, etc.).
  - c) Seleccionar **“Create Project”**.

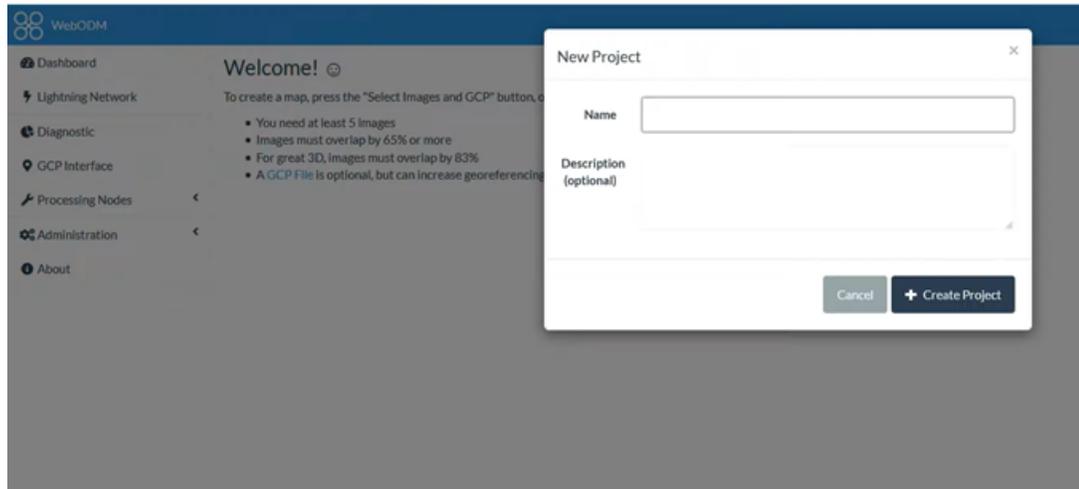


Figura 4: Interfaz para crear nuevo proyecto

3. Crear ortomosaico.
  - a) Seleccionar **“Select Images and GCPs.”**
  - b) Buscar la carpeta donde se encuentran las imágenes del dron y seleccionarlas.
  - c) Seleccionar **“Open”**.



ACLARACIÓN: El mínimo de imágenes requeridas para hacer el ortomosaico es de 5.

- d) Para obtener el ortomosaico, en las opciones del proyecto se puede optar por la opción **“Default”** o **“High Resolution”**. Se recomienda seleccionar la primera opción.

ACLARACIÓN: Aunque la opción “High Resolution” permite generar un ortomosaico de muy alta resolución (información cada muy pocos cm), esta precisión excede los requerimientos para un monitoreo a nivel de varias hectáreas y requiere un mayor tiempo de procesamiento que la opción “Default”.

- e) Dejar seleccionadas el resto de las opciones indicadas por defecto.
- f) Seleccionar **“Review”** y luego **“Start Processing”**.
- g) En la barra de la pantalla se indicará que la tarea está siendo procesada o en el estado de **“Running”**. En esta etapa las imágenes se cargarán y empezará el procesamiento.
- h) Cuando el estado indique **“Completed”** el ortomosaico estará listo.
- i) Seleccionar **“Open Map”** para visualizar el ortomosaico previo a la descarga. Se abrirá el producto generado con la imagen satelital de fondo.
- j) Seleccionar **“Download Assets”** para descargar el ortomosaico en formato .TIFF
- k) Seleccionar la carpeta donde se guardará el archivo .TIFF con el mapa de bandas espectrales y escribir el nombre del archivo (ej. Bandas\_vuelo1).

## Producto final

Imagen .TIFF con el mapa de bandas espectrales del área cubierto por el vuelo planificado del dron.

## C. Desarrollo de mapa NDVI de plataforma de pastoreo

### Objetivo específico

Obtener mapa del Índice de NDVI de toda la plataforma de pastoreo

### Materiales y Métodos

✓ *Software: QGIS; ArcGIS.*

✓ *Insumo: Capa ráster (.TIFF) con bandas espectrales; Polígono con plataforma pastoreo.*

✓ *Producto final: Mapa ortomosaico de NDVI.*

### Procedimiento

1. Cargar en QGIS el mosaico de vuelo generado como imagen .TIFF (Etapa B).
  - a. Seleccionar **Capa / Añadir capa / Añadir capa ráster**.
  - b. Buscar archivo .TIFF en la carpeta del directorio de su PC.
  - c. **“Añadir”**.

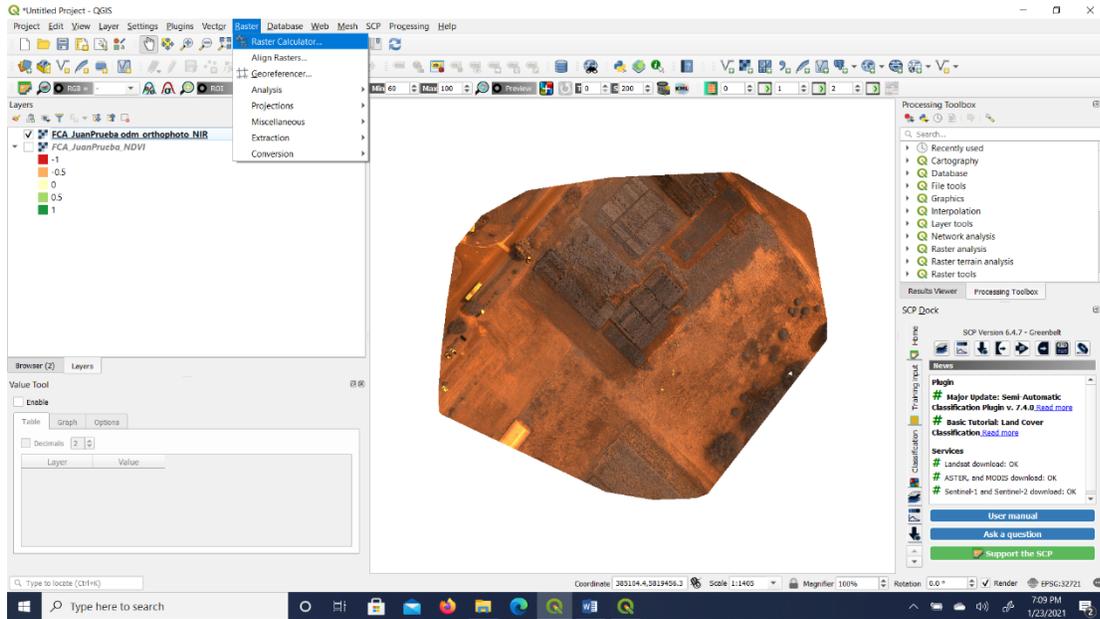


Figura 5: Imagen en QGIS con carga de vuelo generado en imagen

## 2. Crear polígono de plataforma de pastoreo

- a. Seleccionar **Capa / Crear capa / Nueva capa de archivo shape**.
- b. En el campo "**Nombre de archivo**" seleccionar la carpeta donde se guardará el archivo de tipo shapefile (.shp) con los límites de la plataforma de pastoreo y escribir el nombre del mismo (ej: Plataforma\_limites).
- c. En el campo "**Tipo de geometría**" seleccionar la opción "**Polígono**".
- d. **"Aceptar"**.
- e. Seleccionar **Capa / Conmutar Edición** (  )
- f. Seleccionar **Edición / Añadir polígono** (  ; Ctrl +)
- g. Dibujar polígono con límites de la plataforma de pastoreo.
- h. Botón derecho del mouse para finalizar el dibujo.
- i. **"Aceptar"**.
- j. Terminar edición repitiendo el paso C.2.f (o nuevamente  )
- k. **"Guardar"**.



3. Reducir la capa ráster del vuelo a solo la plataforma de pastoreo

- a. Seleccionar **Ráster / Extracción / Cortar ráster por capa de máscara...**
- b. En el campo **“Capa de entrada”** seleccionar el archivo .TIFF del paso C.1.
- c. En el campo **“Capa de máscara”** seleccionar el archivo de tipo polígono con los límites de la plataforma de pastoreo (paso C.2).
- d. Tildar la opción **“Ajustar la extensión del ráster cortado a la extensión de la capa de máscara”**
- e. En el campo **“Cortado (máscara)”** seleccionar la opción **“Guardar a archivo...”** y luego seleccionar la carpeta donde se guardará el archivo .TIFF con la capa de salida de la plataforma de pastoreo. Nombrar la capa de salida (ej. Plataforma\_vuelo1).
- f. Tildar la opción **“Abrir el archivo de salida después de ejecutar el algoritmo”**.
- g. **“Ejecutar”**.

4. Desarrollar una capa ráster con valores del índice NDVI de la plataforma de pastoreo

- a. Seleccionar **Ráster / Calculadora raster**.
- b. En el campo **“Expresión de calculadora ráster”** cargar la fórmula de NDVI =

$$\text{NDVI} = [(\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})]$$

ACLARACIÓN: Para usar las bandas NIR, RED en el cálculo de NDVI de este ejemplo se debe seleccionar las bandas del ráster que figuran como Banda 1 (RED) y Banda 3 (NIR).

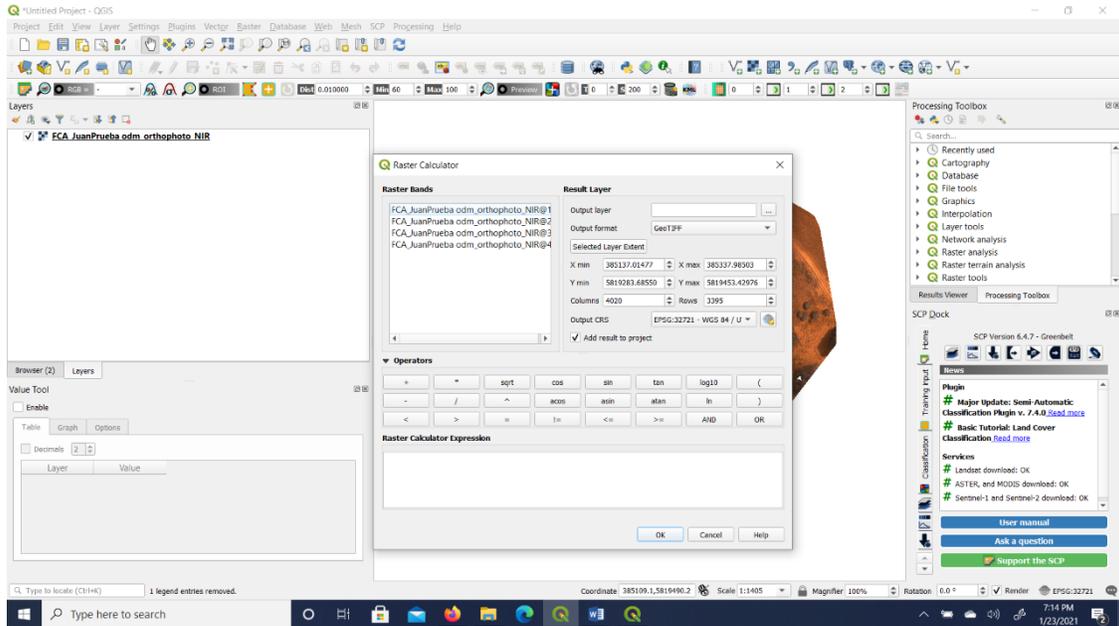


Figura 6: Interfaz para desarrollar una capa ráster con valores NDVI

c. Ingresar la fórmula de cálculo de la siguiente forma:

$$\left( ("Nombre@3" - "Nombre@1") - "Nombre@3" + "Nombre@1" \right) / \left( ("Nombre@3" - "Nombre@1") + ("Nombre@3" + "Nombre@1") \right)$$

ACLARACIÓN: Es importante notar que el nombre de las bandas variara con el nombre del archivo de la imagen TIF generado en WebODM (Etapa B) y siempre va entre comillas (en este ejemplo “Nombre” seguido del “@3” o “@1” según sea la banda NIR o RED, respectivamente).

d. En el campo de **“Capa de salida”** seleccionar la carpeta donde se guardará el archivo .TIFF con el mapa de índice NDVI y escribir el nombre del archivo.

NOTA: Se recomienda que para nombrar los archivos se elijan denominaciones descriptivas de la información que guardan los mismos. Ejemplo para este caso: “Plataforma\_NDVI\_vuelo1”. Esto facilitará la búsqueda entre los muchos archivos que se generen durante los diferentes pasos que involucran los procesamientos de imagen.

e. "Aceptar".

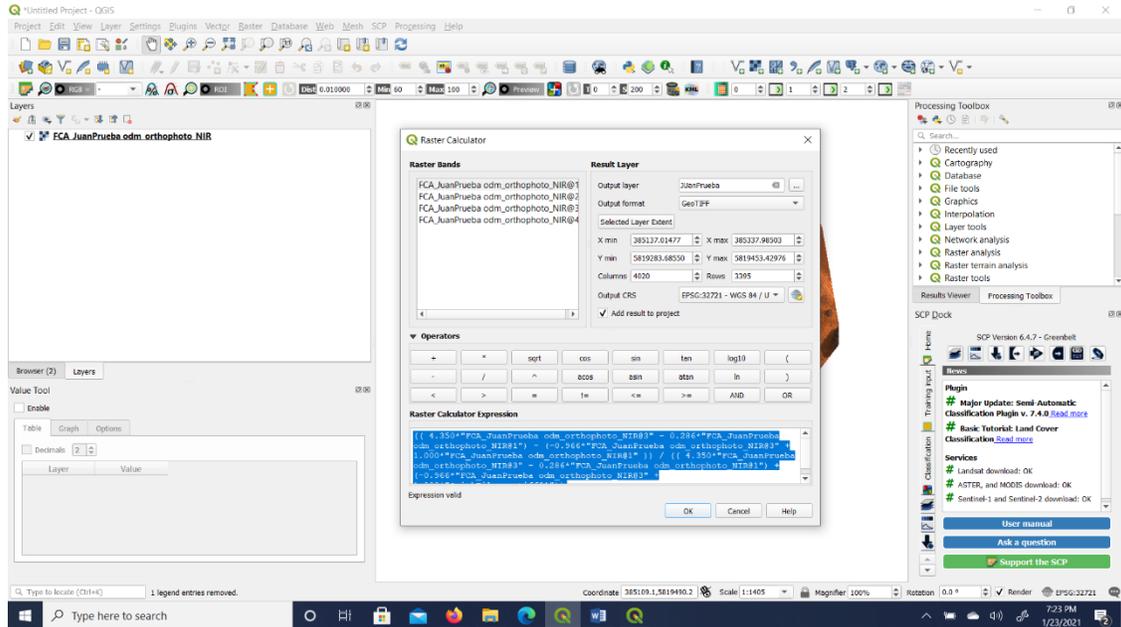


Figura 7: Ingreso de fórmulas para generación de capa ráster

- f. Una vez que el programa termino de correr se muestra la capa ráster con el mapa NDVI en escala de grises y los rangos de valores mostrados en la lista de capas (izquierda).

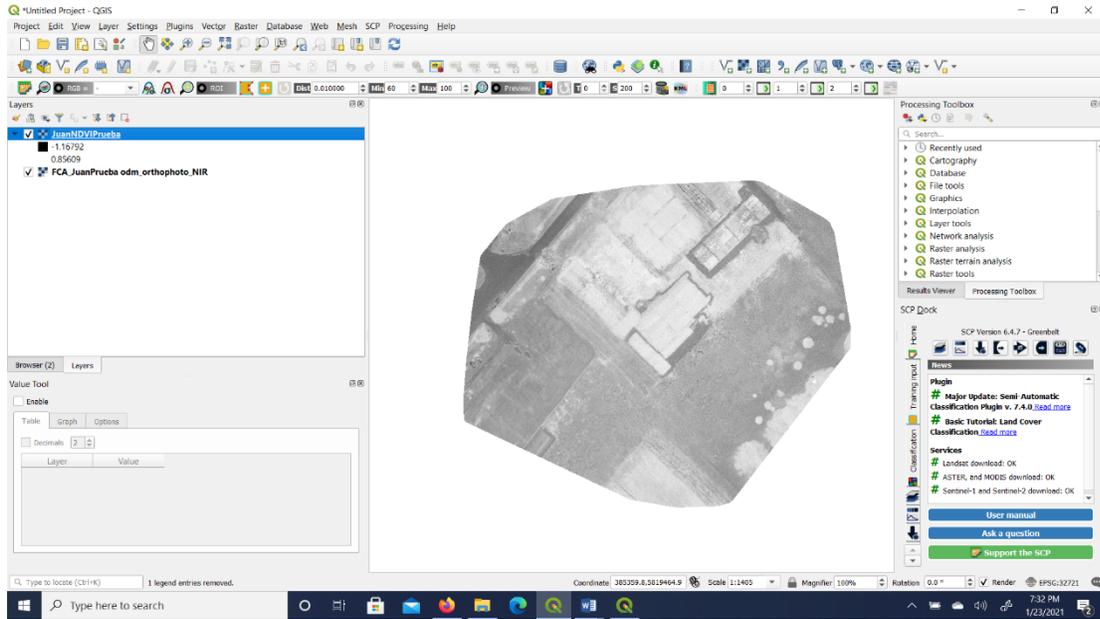


Figura 8: Visualización de capa ráster con el mapa NDVI en escala de grises

## 5. Ajustar escala de color en mapa

- a. En la lista de capas seleccionar la capa de salida con el NDVI de la plataforma de pastoreo.
- b. Presionar botón derecho del mouse sobre la capa y seleccionar ***“Propiedades...”***
- c. Ingresar en la solapa ***“Simbología”***.
- d. En el campo ***“Tipo de renderizador”*** seleccionar ***“Pseudocolor monobanda”***.
- e. En el campo ***“Modo”*** seleccionar ***“Cuantil”***, en ***“Clases”*** utilizar el valor cinco.
- f. En ***“Valor”*** fijar el más bajo en cero.
- g. ***“Aplicar”***, ***“Aceptar”***.

NOTA: un punto a resaltar aquí es que, si durante la planificación del vuelo en el campo no se utilizó un blanco de calibración, las imágenes estarán sujetas a variaciones inherentes a la calidad de vuelo, luminosidad, hora del día y procesado (entre otras), por lo que existirán errores de reflectancia para sombras y para objetos (no verde). No obstante, la cantidad de

pixeles con estos errores deberían ser muy bajos en relación con el total de píxeles que componen toda la plataforma de pastoreo. En otras palabras, estos errores por calidad de luz sin calibrar serían muy insignificantes a nivel de parcela. Sobre todo, porque esto sucede principalmente para valores bajos (sombras); por el contrario, esto no se verifica para superficies de vegetación con valores positivos.

## 6. Enmascarar errores de calibración fijando límites para el rango de índice NDVI

- a. Retomar el paso C.5.r.
- b. Tildar la opción **“corte fuera de valores del intervalo”**.
- c. **“Aplicar”, “Aceptar”**.

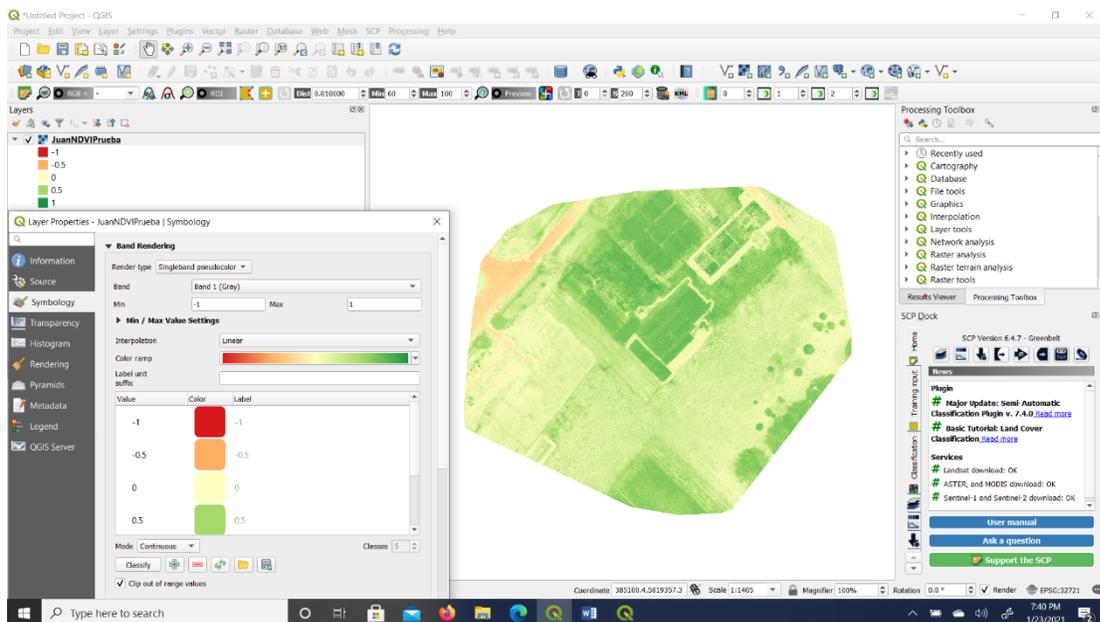


Figura 9: Imagen .TIFF con el mapa de NDVI de toda la plataforma de pastoreo.

## Producto final

Imagen .TIFF con el mapa de NDVI de toda la plataforma de pastoreo.

## D. Determinación de NDVI promedio por AC

### Objetivo específico

Determinar el NDVI de las áreas de calibración marcadas para realizar la curva de calibración.

### Materiales y Métodos

- ✓ *Software: QGIS; ArcGIS*
- ✓ *Insumo: Capa ráster (.TIFF) de NDVI*
- ✓ *Producto final: NDVI promedio por AC*

### Procedimiento

#### 1. Crear polígonos de los AC

- a. Seleccionar **Capa / Crear capa / Nueva capa de archivo shape** (  ).
- b. En el campo “**Nombre de archivo**” seleccionar la carpeta donde se guardará el archivo shape (.shp) con el polígono de cada AC y escribir el nombre del archivo. (ej: “AC\_1”).
- c. En “**Tipo de geometría**” seleccionar la opción “**Polígono**”.
- d. “**Aceptar**”.
- e. Seleccionar **Capa / Conmutar Edición** (  )
- f. Seleccionar **Edición / Añadir polígono** (  ; Ctrl +)
- g. *Buscar en el mapa el AC y dibujar el polígono con los límites evitando incluir las tarjetas blancas.*
- h. *Botón derecho del mouse para finalizar el dibujo.*
- i. “**Aceptar**”.
- j. *Terminar edición repitiendo el paso D.1.f (o nuevamente  )*
- k. “**Guardar**”.

**ACLARACIÓN:** Estos pasos se deberían repetir tantas veces como AC identificados se tenga: AC\_1, AC\_2, AC\_3, etc.

## 2. Crear capa ráster NDVI para cada AC

- a. Seleccionar **Ráster / Extracción / Cortar ráster por capa de máscara...**
- b. En el campo **“Capa de entrada”** seleccionar el archivo .TIFF (ráster) con la capa del índice NDVI del campo o predio (paso C.4.f).
- c. En el campo **“Capa de máscara”** seleccionar el archivo de tipo polígono con los límites de cada AC (uno por vez) con el que se quiere trabajar (paso D.1).
- d. Tildar **“Ajustar la extensión del ráster cortado a la extensión de la capa de la máscara”**.
- e. En el campo **“Cortado (máscara)”** seleccionar la opción **“Guardar a archivo...”** y luego seleccionar la carpeta donde se guardará el archivo .TIFF con la capa de salida del mapa de pasto del potrero o recurso.
- f. Nombrar la capa de salida (ej. AC\_1).
- g. Tildar la opción **“Abrir el archivo de salida después de ejecutar el algoritmo”**.
- h. **“Ejecutar”**.

ACLARACIÓN: Estos pasos se deberían repetir tantas veces como AC identificados se tenga: AC\_1, AC\_2, AC\_3, etc.

## 3. Cálculos estadísticos por AC

- a. Seleccionar **“Caja de herramientas de procesos”** (  ; Ctrl + Alt + T).
- b. En la caja de herramientas seleccionar **Análisis ráster / Estadística de capa ráster**.
- c. En el campo **“Capa de entrada”** seleccionar el archivo .TIFF con la capa ráster de cada AC (uno por vez) del que se quiere obtener el valor promedio (paso D.2).
- d. En el campo **“Estadísticas”** elegir la carpeta donde se quiere guardar el archivo con los estadísticos y tipear nombre identificadorio (por ej. “NDVI\_AC\_1”).
- e. **“Ejecutar”**.

ACLARACIÓN: Estos pasos se deberían repetir tantas veces como AC identificados se tenga.



ALTERNATIVA: Para el paso D.3.d, otra opción para obtener el valor promedio de índice NDVI por AC sin tener que crear un archivo es seleccionando de la lista de capas la capa ráster de un AC y con botón derecho del mouse seleccionar **“Propiedades”**. En la lista de información desplegada se puede copiar (**Ctrl + C**) los valores y pegar (**Ctrl + V**) directamente en una planilla Excel.

NOTA: Dependiendo de la configuración de Excel, es probable que los valores decimales copiados desde QGIS sean tomados como datos tipo “texto” (reconoce la coma y no el punto). Para poder ser procesados en la planilla de cálculo de Excel deben ser tomados como valores. Para ello se debe cambiar el formato de punto (“.”) a coma (“,”). Esto se puede resolver fácilmente en Excel seleccionando todos los datos y en la opción **“Buscar y Reemplazar”** (**Ctrl + B**) seleccionar la solapa **“Reemplazar”** y en el campo **“Buscar”** ingresar “.” (punto) y en el campo de **“Reemplazar con:”** ingresar “,” (coma).

## Producto final

Archivo con valores medios, máximos, mínimos, y demás estadísticos para cada AC.

## E. Desarrollo de curva de calibración

### Objetivo específico

Desarrollar ajuste de regresión que permita convertir los valores de índice NDVI en unidades de biomasa en kg MS/ha.

### Materiales y Métodos

✓ *Software: Planilla Excel.*

✓ *Insumo: Valores de índice NDVI y su correspondiente biomasa en kg MS/ha para cada AC.*

✓ *Producto final: Ecuación para transformar NDVI a kg MS/ha de pasto.*

### Procedimiento

#### 1. Diseño de planilla

- a. Diseñar una tabla donde haya tantas filas como AC se hayan medido.
- b. En la tabla incluir siete (7) columnas:
  - A. Identificación del **“AC”**;
  - B. **“Recurso”** o especie;
  - C. **“Potrero”**;
  - D. **“Fecha”** de las mediciones;
  - E. **“Disponibilidad”** de pasto en kg MS/ha (Etapa A);
  - F. Valor promedio **“NDVI”** (Etapa D);
  - G. **“Observación”**;

#### 2. Ajuste de curva de calibración

- a. Seleccionar columnas E y F
- b. En solapa **“Insertar”** seleccionar **“Gráfico de dispersión (X, Y)”**.
- c. Definir **“NDVI”** como variable X y **“Disponibilidad”** como Y.



- d. Seleccionar botón derecho del mouse sobre algún punto AC del gráfico y seleccionar "**Agregar línea de tendencia...**".
- e. Seleccionar el ajuste "**Exponencial**".
- f. Tildar "**Presentar ecuación en el gráfico**".
- g. Tildar "**Presentar el valor R cuadrado en el gráfico**".
- h. Copiar la formula presente en el gráfico (ej.  $y = 69,63e^{4,61x}$ )

ACLARACIÓN: Por experiencia en trabajos publicados con uso del índice NDVI se recomienda un ajuste "Exponencial". No obstante, se sugiere chequear los otros ajustes de tendencias (principalmente lineal y polinómica de segundo grado) para seleccionar el modelo con mayor  $R^2$ . El  $R^2$  da una idea de cuán preciso es el índice NDVI como estimador de la disponibilidad de pasto. El  $R^2$  varía de 0 a 1, donde 0 significa que no hay relación y 1 significa un ajuste perfecto. Para tener una referencia del nivel de ajuste:

$R^2 > 90\%$	Excelente
$R^2 = 90 - 80\%$	Muy bueno
$R^2 = 80 - 65\%$	Bueno
$R^2 = 65 - 50\%$	Regular
$R^2 < 50\%$	Malo

## Producto final

Ecuación para transformar valores de índice NDVI (variable x) en unidades de biomasa de pasto disponible en kg MS/ha (variable y).

## F. Desarrollo mapa disponibilidad de pasto

### Objetivo específico

Obtener mapa con disponibilidad de pasto para toda la plataforma de pastoreo.

### Materiales y Métodos

- ✓ *Software: QGIS; ArcGIS*
- ✓ *Insumo: Capa puntos con NDVI y ecuación de calibración*
- ✓ *Producto final: Mapa disponibilidad de pasto*

### Procedimiento

1. Crear polígonos de potreros
  - a. Seleccionar **Capa / Crear capa / Nueva capa de archivo shape** (  ).
  - b. En el campo "**Nombre de archivo**" seleccionar la carpeta donde se guardará el archivo de tipo shape (.shp) con el polígono de cada potrero y escribir el nombre del archivo (ej: "Potrero alfalfa\_1").
  - c. En "**Tipo de geometría**" seleccionar la opción "**Polígono**".
  - d. "**Aceptar**".
  - e. Seleccionar **Capa / Conmutar Edición** (  ).
  - f. Seleccionar **Edición / Añadir polígono** (  ; Ctrl +).
  - g. Dibujar polígono con los límites del potrero (de por ej. alfalfa 1).
  - h. Botón derecho del mouse para finalizar el dibujo.
  - i. "**Aceptar**".
  - j. Terminar edición repitiendo el paso F.1.f (o nuevamente  )
  - k. "**Guardar**".



**ACLARACIÓN:** Estos pasos (para el ej. del potrero alfalfa 1) se deberían repetir tantas veces como potreros identificados se tenga.

## 2. Agrupar los potreros con mismo recurso

**ACLARACIÓN:** Este paso es para simplificar el procedimiento más adelante. A la hora de aplicar la ecuación de calibración para transformar el valor de índice NDVI en unidades de disponibilidad de pasto en kg MS ha<sup>-1</sup>, ésta debería ser por recurso forrajero. Para ello, en este paso se agrupan los potreros por recurso forrajero así luego se aplica una misma fórmula a todos los potreros del mismo recurso.

- a. Seleccionar **“Caja de herramientas de procesos”** (  ; Ctrl + Alt + T).
- b. En la caja de herramientas seleccionar **“Unión”**
- c. En el campo **“Capa de entrada”** seleccionar el archivo de tipo shape (.shp) con el polígono de los límites de un potrero (ej. “Potrero alfalfa\_1”, paso F.1).
- d. En el campo **“Capa de superposición”** seleccionar el archivo de tipo shape (.shp) con el polígono de los límites de un segundo potrero del mismo recurso (ej. “Potrero alfalfa\_2”).
- e. Seleccionar **“Abrir el archivo de salida después de ejecutar el algoritmo”**.
- f. **“Ejecutar”**.

**ACLARACIÓN:** Luego de ejecutar esta función aparecerá en la lista de capas una capa de extensión shapefile (.shp) creada con la unión de los dos potreros del mismo recurso (ej. Potrero alfalfa\_1 + Potrero alfalfa\_2). Estos pasos se deberían repetir tantas veces como potreros del mismo recurso se incluyan en la plataforma de pastoreo. Para eso continuar con los siguientes pasos:

- g. Seleccionar nuevamente en la Caja de herramientas la opción **“Unión”**.
- h. En el campo **“Capa de entrada”** seleccionar el archivo de tipo shape (.shp) con el polígono de la última unión de potreros del mismo recurso.
- i. En el campo **“Capa de superposición”** seleccionar el archivo de tipo shape (.shp) con el polígono de los límites de un nuevo potrero (ej. “Potrero alfalfa\_3”).

- 
- j. Seleccionar **“Abrir el archivo de salida después de ejecutar el algoritmo”**.
  - k. **“Ejecutar”**.
  - l. Repetir pasos F.4.g – F.4.k tantas veces como potreros del mismo recurso incluya la plataforma de pastoreo.

**ACLARACIÓN:** Con la unión del último potrero se obtendrá un archivo de tipo shape (.shp) con todos los potreros del campo que comparten el mismo recurso.

### 3. Identificar los potreros en el mapa de índice NDVI

- i. Seleccionar **Ráster / Extracción / Cortar ráster por capa de máscara...**
- j. En el campo **“Capa de entrada”** seleccionar el archivo .TIFF del NDVI ráster del campo (paso C.4.f).
- k. En el campo **“Capa de máscara”** seleccionar el archivo de tipo polígono con los límites del potrero con el que se quiere trabajar (paso F.1) o con el conjunto de potreros que comparten el mismo recurso (paso F.2).
- l. Tildar **“Ajustar la extensión del ráster cortado a la extensión de la capa de la máscara”**.
- m. En el campo **“Cortado (máscara)”** seleccionar la opción **“Guardar a archivo...”** y luego seleccionar la carpeta donde se guardará el archivo .TIFF con la capa de salida del mapa de pasto del potrero o recurso.
- n. Nombrar la capa de salida (ej. alfalfa\_NDVI\_12-3-24).
- o. Tildar la opción **“Abrir el archivo de salida después de ejecutar el algoritmo”**.
- p. **“Ejecutar”**.

### 4. Desarrollar capas ráster con valores de disponibilidad de pasto por potrero o recurso.

- a. Seleccionar **Ráster / Calculadora de ráster**.
- b. En el campo de **“Capa de salida”** seleccionar la carpeta donde se guardará el archivo .TIFF con el mapa de disponibilidad de pasto y nombrar la capa de salida (ej. alfalfa\_Pasto\_12-3-24).

- c. En campo de **“Expresión de calculadora ráster”** escribir la formula con la curva de calibración obtenida en el paso E.2.h (en formato numérico, es decir con punto para decimales, NO con coma)

Ej: ( 69.63 \*( 2.71828182845905 ^ ( 4.61 \* "Potrero alfalfa\_1\_NDVI\_12-3-24@1" ) ) )

- d. **“Ejecutar”**.

ACLARACIÓN: Este paso se puede ejecutar de forma individual para cada potrero o de forma grupal para el conjunto de potreros que comparten el mismo recurso (y por ende la misma curva de calibración). En este último caso, se reducen los pasos de conversión del índice NDVI en unidades de biomasa en kg MS ha<sup>-1</sup>.

#### 5. Crear mapa de disponibilidad de pasto de plataforma de pastoreo.

- a. Seleccionar **Capa / Añadir capa / Añadir capa ráster**.
- b. Buscar archivo .TIFF de los potreros del paso F.3 o F.4 en la carpeta del directorio de su PC.
- c. **“Añadir”**.
- d. Con todas las capas ráster de los potreros añadidos en la lista de capas seleccionar **Ráster / Miscelánea / Combinar**.
- e. En el campo **“Capa de entrada”** seleccionar los archivos de todos los potreros (o recursos) del campo.
- f. **“Aceptar”**.
- g. En el campo **“Tipo de datos de salida”** seleccionar **“Float32”**.
- h. Tildar la opción **“Abrir el archivo de salida después de ejecutar el algoritmo”**.
- i. **“Ejecutar”**.

#### 6. Cálculos estadísticos por potrero o campo

- a. Seleccionar **“Caja de herramientas de procesos”** (  ; Ctrl + Alt + T).
- b. En la caja de herramientas seleccionar **Análisis ráster / Estadística de capa ráster**.

- 
- c. En el campo **“Capa de entrada”** seleccionar el archivo .TIFF con el mapa de disponibilidad de pasto del potrero (paso F.3) del recurso forrajero (paso F.4) o del campo (paso F.5).
  - d. En el campo **“Estadísticas”** elegir la carpeta donde se quiere guardar el archivo con los estadísticos y escribir el nombre identificador del archivo (ej. “Pasto\_Alfalfa\_12Marzo”).
  - e. **“Ejecutar”**.

### Producto final

Mapas de disponibilidad de pasto del campo más archivo con valores medios, máximos, mínimos, y demás estadísticos del campo por potrero y/o recurso.

## G. Determinación de disponibilidad de pasto por parcela

### Objetivo específico

Determinar la cantidad de pasto disponible promedio que hay en un área específica del campo.

### Materiales y Métodos

✓ *Software: QGIS; ArcGIS*

✓ *Insumo: Mapa disponibilidad de pasto.*

✓ *Producto final: Valores promedios de disponibilidad de pasto por parcela.*

### Procedimiento

#### 1. Identificar un área específica como polígono

- a. Seleccionar **Capa / Crear capa / Nueva capa de archivo shape** (  ).
- b. En el campo **“Nombre de archivo”** seleccionar la carpeta donde se guardará el archivo de tipo shape (.shp) con el polígono del área que se desea evaluar y escribir el nombre del archivo. (ej: “Potrero\_3\_Parcela\_1”).
- c. En **“Tipo de geometría”** seleccionar la opción **“Polígono”**.
- d. **“Aceptar”**.
- e. Seleccionar **Capa / Conmutar Edición** (  )
- f. Seleccionar **Edición / Añadir polígono** (  ; Ctrl + )
- g. **Dibujar polígono con los límites del AC**
- h. **Botón derecho del mouse para finalizar el dibujo.**
- i. **“Aceptar”**.
- j. **Terminar edición repitiendo el paso D.2.f (o nuevamente  )**
- k. **“Guardar”**.

#### 2. Identificar el área seleccionada en el mapa de disponibilidad de pasto

- a. Seleccionar **Ráster / Extracción / Cortar ráster por capa de máscara...**

- 
- b. En el campo **“Capa de entrada”** seleccionar el archivo .TIFF del ráster del mapa de disponibilidad del campo (paso F.5).
  - c. En el campo **“Capa de máscara”** seleccionar el archivo de tipo polígono con los límites del área que se quiere evaluar (paso G.1).
  - d. Tildar **“Ajustar la extensión del ráster cortado a la extensión de la capa de la máscara”**.
  - e. Tildar la opción **“Abrir el archivo de salida después de ejecutar el algoritmo”**.
  - f. **“Ejecutar”**.

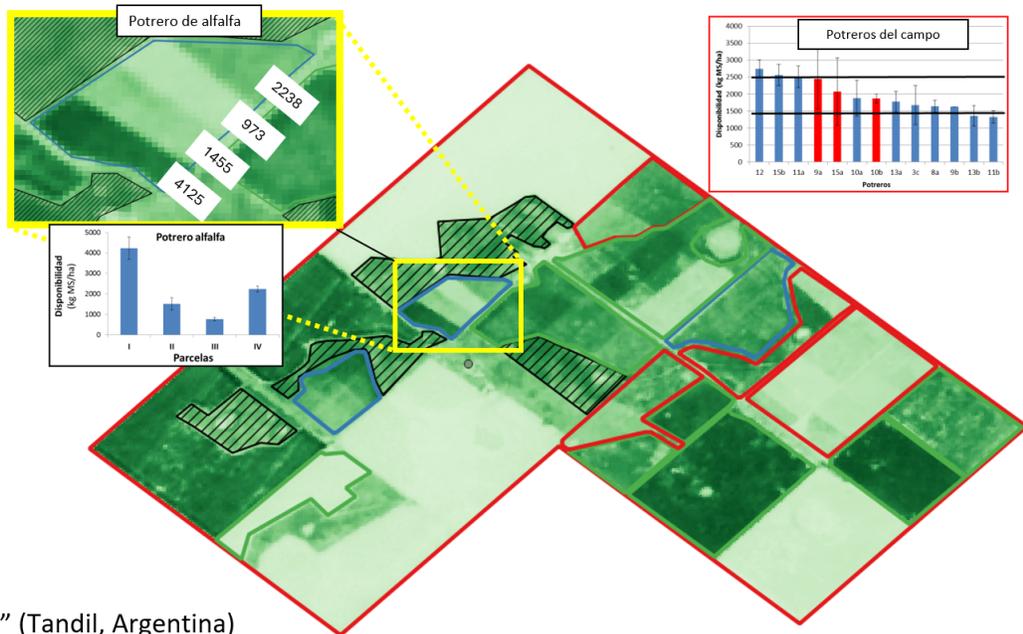
### 3. Calcular valor promedio de disponibilidad de pasto del área seleccionada

- a. En la lista de capas, seleccionar con el botón derecho del mouse sobre la capa ráster de disponibilidad de pasto creada en G.2, y luego seleccionar **“Propiedades...”**
- a. En la ventana de propiedades seleccionar la solapa **“Información”**.
- b. De la lista de información buscar **“STATISTICS\_MEAN”** que indica el valor promedio de disponibilidad de pasto del área seleccionada.

ALTERNATIVA: Para el paso G.3, otra opción para obtener el valor promedio de índice NDVI por AC sin tener que crear un archivo es seleccionando de la lista de capas la capa ráster de un AC y con botón derecho del mouse seleccionar **“Propiedades”**. En la lista de información desplegada se puede visualizar directamente los estadísticos.

### Producto final

Valores promedios de disponibilidad de pasto por parcela (Figura 10).



Campo "La Julia" (Tandil, Argentina)

Figura 10: Valores promedios de disponibilidad de pasto de potreros de un campo. En mayor detalle (recuadro amarillo) se muestra los valores promedios de disponibilidad de pasto para cuatro parcelas de un potrero de alfalfa.



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El protocolo presentado respalda la utilidad y aplicación del uso de drones para el monitoreo de pasturas, describiendo de forma detallada los pasos requeridos a tal fin. Este enfoque no solo ofrece una herramienta eficaz para evaluar de forma remota y precisa la variación en disponibilidad de pasto, sino que también se presenta como una herramienta valiosa para los productores, permitiéndoles tomar decisiones informadas sobre la gestión de sus recursos forrajeros. Futuros trabajos que automaticen parte de esta metodología son necesarios con el objetivo de simplificar y agilizar aún más su aplicación en el campo para mejorar la toma de decisiones remotas en el manejo de los recursos forrajeros.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bazzo, C.O.G.; Kamali, B.; Hütt, C.; Bareth, G.; Gaiser, T. 2023. A Review of Estimation Methods for Aboveground Biomass in Grasslands Using UAV. *Remote Sens.* 15, 639. <https://doi.org/10.3390/rs15030639>
- Chapman, D.F. 2016. Using ecophysiology to improve farm efficiency: Application in temperate dairy grazing systems. *Agriculture* 6(2): 17. doi: 10.3390/agriculture6020017
- Cicore P.L., Franco M. Castro, Peralta N. R., Marques da Silva J. R., Costa J. L. 2019. Relationship between soil apparent electrical conductivity and forage yield in temperate pastures according to nitrogen availability and growing season. *Crop and Pasture Science* 70, 908-916.
- Cicore, P.L., Serrano J., Shahidian S., Sousa A., Costa J., Da Silva J. 2016. Assessment of the spatial variability in tall wheatgrass forage using LANDSAT 8 satellite imagery to delineate potential management zones. *Environmental Monitoring and Assessment.* 188, 513.
- Fariña S.R., Garcia S.C., Fulkerson W., Barchia I. 2011. Pasture-based dairy farm systems increasing milk production through stocking rate or milk yield per cow: Pasture and animal responses. *Grass and Forage Science.* 66, 316-332.
- Ganguli, A.C., Vermeire I., Mitchell R.B., Wallace M. 2000. Comparison of four nondestructive techniques for estimating standing crop in shortgrass plains. *Agronomy Journal*, 92, 1211-1215.
- Gargiulo J., Clark C., Lyons N., de Veyrac G., Beale P., García S.C. 2020. Spatial and Temporal Pasture Biomass Estimation Integrating Electronic Plate Meter, Planet CubeSats and Sentinel-2 Satellite Data. *Remote Sensing* 12:3222.
- Hernández, V. 2023. Calibración y uso de métodos indirectos para estimar la biomasa en alfalfa, festuca y raigras anual. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Argentina. 40 p.
- 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. *PloSone.* 14(3): e0212773. DOI: 10.1371/journal.pone.0212773.
- Michez A., Lejeune S., Bauwens A., Herinaina Y., Blaise, Castro Muñoz. 2019. Mapping and Monitoring of Biomass and Grazing in Pasture with an Unmanned Aerial System. *Remote Sensing* 11: 473.
- Oliveira R.A., Näsi R., Niemeläinen O., Nyholm L., Alhonoja K., Kaivosoja J., Jauhiainen L., Viljanen N., Nezami S., Markelin L., Hakala T., Honkavaara E. 2020. Machine learning



estimators for the quantity and quality of grass swards used for silage production using drone-based imaging spectrometry and photogrammetry. *Remote sensing of Environment* 246:111830.

Viljanen N., Honkavaara E., Näsi R., Hakala T., Niemeläinen O., Kaivosoja J. 2018. A novel machine learning method for estimating biomass of grass swards using a photogrammetric canopy height model, images and vegetation indices captured by a drone. *Agriculture* 8, 70.

## INSTITUCIONES PARTICIPANTES



Secretaría Técnica Administrativa



Con el apoyo de:



[www.fontagro.org](http://www.fontagro.org)

Correo electrónico: [fontagro@fontagro.org](mailto:fontagro@fontagro.org)