



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA ARGENTINA

Ingeniería Agronómica

**CARACTERIZACIÓN DE PASTURAS BASE ALFALFA UTILIZANDO IMÁGENES
SATELITALES EN EL CENTRO DE LA PROVINCIA DE BUENO AIRES.**

**Trabajo final de graduación para optar por el título de:
Ingeniero Agrónomo**

Autor/a: Genaro Di Cesare

Tutores: María Del Rosario Iturralde - Paulo Recavarren

Fecha de defensa:

Agradecimientos

A los propietarios y personal de campo del establecimiento “La Emilia”; “San Jacinto”; “Las Chacras”; “La Ilusión”; “La Juanita”; “Don Vicente” por permitirnos y acompañarnos a idear, planificar y llevar adelante este trabajo final.

Además, quiero agradecerles a Rosario Iturralde y Paulo Recavarren que me permitieron abrir las puertas del INTA y poder participar de su proyecto. Y las horas que han dedicado para poder llevarlo a cabo.

También se agradece al Ing. Agr. Federico Conforti por colaborar y brindar información.

Dedicatoria

En primer lugar, agradecer a mis padres y mi hermana, quienes siempre estuvieron al lado mío y durante estos 7 años de carrera me bancaron siempre y me dieron la fuerza para hoy estar terminando esta carrera muy linda de Ingeniero Agrónomo.

También a mi grupo de amigos de mi ciudad que siempre apoyaron e hicieron que el estudio se haga más llevadero y más fácil el día a día.

Gracias a Franco, Federico, María, Delfina, Constancio por las horas de estudio, peña, mates y asados. muchas personas más que me acompañaron y hicieron de estos años algo inolvidable.

Y por último a mis perros, Tano – Chiqui – Midas – Kala.

¡GRACIAS A TODOS!

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1.Importancia de la estimación de forraje.....	1
1.2.Método directo	1
1.3.Métodos indirectos	2
1.4.Especie de estudio.....	4
1.5.Objetivo.....	5
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	6
2.1.Relación entre stock forrajero e Índice de Vegetación Normalizado.....	6
2.2.Monitoreo de IVN en lotes productivos.....	7
2.3.Análisis estadístico.....	8
3. RESULTADOS.....	10
3.1.Relación entre stock forrajero e Índice de Vegetación Normalizado.....	10
3.2.Monitoreo de IVN en lotes productivos.....	15
4. DISCUSIÓN	20
5. CONCLUSIONES	23
6. BIBLIOGRAFÍA	24
7. ANEXOS	29
7.1.Anexo I. Script de programación para seleccionar colección de imágenes y procesar y exportar una imagen satelital (Lenguaje Java Script).	29
7.2.Anexo II. Mapas de índice de vegetación normalizado construídos con las imágenes del satélite Landsat 8 (el recuadro rojo indica la parcela de estudio).	30
7.3.Anexo III. Mapas de índice de vegetación normalizado construídos con las imágenes del satélite Sentinel 2 (el recuadro rojo indica la parcela de estudio).	32
7.4.Anexo IV. Fotos de las pasturas recorridas.	34
7.5.Anexo V. Evolución del IVN en las pasturas estudiadas (A, B, C, D, E, F, G, H, I, K) utilizando imágenes de las misiones satelitales Sentinel 2 y Ladsat 8.	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Altura promedio en cm (n=25), hojas por macollo (n=5 a n=10), y biomasa estimada (KgMS/ha) en los periodos de descanso (salida de los animales) y pastoreo (ingreso de los animales) de la pastura alfalfa-festuca.	10
Tabla 2. Estimación de biomasa (KgMS/ha) de la pastura de alfalfa en las fechas con imágenes de los satélites Landsat 8 disponibles. Past/desc indica ingreso y salida de animales, tc la tasa de crecimiento e IVN el índice de vegetación normalizado promedio de la parcela.	12
Tabla 3. Estimación de biomasa (KgMS/ha) de la pastura de alfalfa en las fechas con imágenes de los satélites Sentinel 2 disponibles. Past/desc indica ingreso y salida de animales, tc la tasa de crecimiento e IVN el índice de vegetación normalizado promedio de la parcela.	13
Tabla 4. Historia de las pasturas de los lotes estudiados durante el periodo 1/5/2022 y 30/4/2023.....	16
Tabla 5. Estadísticos calculados para los valores de IVN de cada lote proveniente de imágenes de la misión satelital Landsat 8 en el periodo 1/5/2022 al 30/4/2023.	17
Tabla 6. Estadísticos calculados para los valores de IVN de cada lote proveniente de imágenes de la misión satelital Sentinel 2 en el periodo 1/5/2022 al 30/4/2023.	18

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Imagen del lote de estudio en color natural provista por el satélite Landsat-8 en la fecha 7 de octubre de 2020. El rectángulo rojo indica la parcela en la que se realizó el seguimiento y recolección de datos.	6
Figura 2. Mapa de ubicación de los lotes productivos monitoreados, en donde se evaluaron las pasturas.....	8
Figura 3. Relación entre la altura y la disponibilidad del forraje en la pastura de alfalfa y festuca para los 5 rebrotes analizados entre septiembre de 2020 y marzo de 2021. Valor $p < 0,001$	11
Figura 4. Mapa de índice de vegetación normalizado del lote de estudio elaborado con una imagen del satélite Landsat 8 de la fecha 7 de octubre de 2020. El rectángulo rojo indica la parcela en la que se realizó el seguimiento y recolección de datos.	12
Figura 5. Mapa de índice de vegetación normalizado del lote de estudio elaborado con una imagen del satélite Sentinel 2 de la fecha 10 de octubre de 2020. El rectángulo rojo indica la parcela en la que se realizó el seguimiento y recolección de datos.	13
Figura 6. Relación entre el índice de Vegetación Normalizado (IVN) estimado con imágenes de las misiones satelitales Landsat 8 y Sentinel 2, y la disponibilidad de la pastura de alfalfa (kgMS/ha) en el periodo comprendido entre 25/9/2020 y 11/03/2020. El valor p del modelo ajustado para las imágenes de Landsat 8 es $< 0,001$. El valor p del modelo ajustado para las imágenes de Sentinel 2 es $< 0,001$	14
Figura 7. Relación entre el índice de Vegetación Normalizado (IVN) estimado con imágenes de las misiones satelitales Landsat 8 y Sentinel 2, y la disponibilidad de la pastura de alfalfa (kgMS/ha) en el periodo comprendido entre 25/9/2020 y 11/03/2020. El valor p del modelo ajustado es $< 0,001$	15
Figura 8. Promedio (X) de precipitaciones mensuales de 10 años (2013 - 2022) y del periodo mayo 2022 a abril 2023 en de la estación del Servicio meteorológico Nacional del partido de Olavarría.	16
Figura 9. Máximos (max), medios (med) y mínimos (min) de los valores máximos de IVN (cuadrados), promedio de IVN (círculos), y mínimo de IVN (rombos) calculados en los 11 lotes de pasturas de alfalfa pura o mezcla forrajera con imágenes de la misión Landsat 8 (línea sólida) y Sentinel 2 (línea punteada).	19

RESUMEN

El centro de la provincia de Buenos Aires es una de las regiones ganaderas más relevantes de la Argentina, donde la actividad de cría, recría e invernada se realiza en forma extensiva, así como gran parte de la producción lechera. Es por ello que el monitoreo frecuente de los recursos forrajeros nos permite alcanzar elevados niveles de productividad, a través de un incremento en la cantidad de forraje cosechado mediante pastoreos directos. Una de las especies más utilizadas en la región es la alfalfa (*Medicago sativa*), en forma pura o en mezcla forrajera principalmente con gramíneas. En la actualidad existen tecnologías desarrolladas a partir de imágenes satelitales que permiten obtener información remota de los establecimientos productivos, este tipo de herramientas tiene un elevado potencial para el asesoramiento ganadero. El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento del índice de vegetación normalizado (IVN) calculado con imágenes de las misiones satelitales Landsat 8 y Sentinel 2 en pasturas base alfalfa y su relación con la productividad. Para ello, se: a) relacionó el stock forrajero de una pastura de alfalfa y festuca en el partido de Olavarría con el IVN calculado con imágenes satelitales de las misiones Landsat 8 y Sentinel 2; y b) se caracterizó el comportamiento del IVN de 11 pasturas (10 en Olavarría, 1 en Laprida) de alfalfa pura o mezclas forrajeras durante el periodo de 1 año con imágenes de las mencionadas misiones satelitales. En a) se logró construir un modelo estadísticamente significativo ($p < 0,001$) que relacionó el stock forrajero (KgMS/ha) con el IVN, el R^2 fue 0,8 utilizando las imágenes de ambas misiones satelitales. En b) se logró caracterizar el volumen de información disponible en la región, es decir la cantidad de imágenes satelitales de calidad que permitieron construir curvas de comportamiento del IVN. Tanto los valores máximos, mínimos como promedio de las pasturas se comportaron de manera similar en las diferentes pasturas, a pesar de contar con una historia de previa diferente. La utilización del IVN como herramienta para el seguimiento y estimación de la productividad de pasturas de alfalfa puras o consociadas se presenta como una gran oportunidad para facilitar la toma de decisiones en los sistemas ganaderos.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Importancia de la estimación de forraje

La producción ganadera consiste en la explotación y manejo de animales domesticables con fin productivo para su aprovechamiento. Las producciones de carne en Argentina se caracterizan por el pastoreo directo de pastizales naturales y pasturas cultivadas, suministrando alimentos concentrados o procesados durante cortos periodos de tiempo cuando los nutrientes aportados por el forraje no son suficientes para los requerimientos de los animales (Arelovich y otros, 2011; Scheneiter y Agnusdei 2011). El centro de la provincia de Buenos Aires es una de las regiones ganaderas más relevantes, donde la actividad de cría se concentra en las áreas con suelos marginales, y la actividad de recría y engorde en los suelos de mayor aptitud agrícola en rotaciones con la agricultura. Por otro lado, la actividad tambera compite directamente con la agricultura por los mismos suelos.

El conocimiento preciso de la cantidad de pasto que hay en cada potrero del campo es clave para poder utilizarlo más eficientemente, y la mejor manera de lograrlo es a través de un método de monitoreo frecuente de la disponibilidad que hay en cada sitio (Insua y otros 2020). Contar con datos precisos y actualizados de la disponibilidad de forraje que hay en el lote nos va a permitir ajustar la carga animal (Bendersky, 2011, Recavarren y otros, 2021). En pasturas se ha demostrado que el monitoreo frecuente nos permite mantener elevados niveles de producción, a través de un incremento en la cantidad de forraje cosechado mediante pastoreos directos (Berone y otros, 2022).

La disponibilidad forrajera es la cantidad biomasa área por hectárea que hay en un determinado momento (Bendersky, 2011), que normalmente es expresada en kilogramos de materia seca (Kg MS/ha). Existen distintos métodos para la estimación de la cantidad de forraje por unidad de superficie, los cuales se pueden clasificar en métodos directos (cortes) o indirectos (estimación visual, altura de regla, bastón medidor, medidor de disco de levante, métodos satelitales) (Sciaretta, 2012; Pravia y otros 2013).

1.2. Método directo

Este tipo de método consiste en cortar y pesar muestras de pasto para luego expresar la disponibilidad en kg MS ha⁻¹, por eso también se conoce como método destructivo. El corte del material cosechado se realiza sobre una superficie conocida (generalmente con un marco o aro que varía entre 0,1 - 0,25 m²) a una altura arbitrariamente definida que

usualmente es a nivel del suelo. Posteriormente se realiza el secado de una sub-muestra de materia fresca en un horno a 60°C por 48 horas (Pravia y otros, 2013). La sub-muestra seca se pesa, y con ese valor se calcula el porcentaje de materia seca en base a la materia fresca pesada inicialmente. Conociendo el porcentaje de materia seca y la cantidad de forraje fresco en la superficie conocida, se puede determinar la disponibilidad de forraje y el pasto sobrante (remanente) dejado por los animales. La desventaja que cuenta este tipo de método, aunque sea uno de los métodos más exactos para el monitoreo de las pasturas, es que la técnica implica mucho tiempo y trabajo en recolectar una cantidad de muestras suficientes que permita obtener una estimación representativa y confiable a escala de parcela o potrero. Por esta razón el método directo es muy poco usado en la práctica como herramienta para monitorear las pasturas (Cangiano, 1997).

1.3. Métodos indirectos

Este tipo de métodos permite estimar la disponibilidad de forraje de forma indirecta a través de medición en una pastura de un atributo o variable como, por ejemplo: densidad o altura. Estos métodos son también llamados no destructivos y permiten un monitoreo más rápido que el método directo y, por lo tanto, una mayor intensidad de muestreo y superficie relevada (Insua y otros, 2021). Dentro de estos métodos podemos encontrar desde los más simples como una regla, hasta los más modernos como sensores electrónicos con GPS, los cuales han sido aceptables para estimar la disponibilidad de pasto en el campo (Garro y Tallarico, 2022). Entre las ventajas de estos métodos se destaca que las mediciones son realizadas con rapidez y que el equipamiento no necesariamente debe ser costoso o especial. Entre las desventajas se puede mencionar que es importante contar con personal con experiencia y entrenado para utilizar el método y se deben realizar comparaciones y calibraciones con un método de estimación directo para evaluar su precisión (Insua y otros, 2021).

En los siguientes apartados describiremos las principales características de los métodos indirectos utilizados para caracterizar la producción forrajera en este trabajo.

1.3.1. Regla graduada o bastón

La medición de la altura de la pastura con bastón o regla graduada tipo Bircham (Hodgson y otros, 1986), es uno de los métodos más sencillos y baratos, de hecho, en muchos sistemas la altura de la pastura es utilizada directamente como indicador para determinar la frecuencia e intensidad de pastoreo. En general, la altura de la pastura se toma como la distancia entre el suelo y la porción de material vegetal vivo más alta de la

canopia sin disturbar. Más allá de estas variantes, la principal desventaja que presenta la altura como variable predictora de los kg de biomasa es que no contempla la densidad de la pastura. Se recomienda realizar tantas calibraciones como situaciones con diferentes cambios en estructura de pastura se sospechen. Lo mismo puede ocurrir en situaciones con diferentes especies de diferente porte o hábito de crecimiento, estado vegetativo/reproductivo, composición botánica o intensidad de pastoreo (Insua y otros, 2021).

1.3.2. *Imágenes satelitales.*

La teledetección es la técnica de adquisición de datos de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales. Este tipo de estimaciones se ofrece como una alternativa a aquellos métodos físicos para la medición rápida de un parámetro de la planta como puede ser la altura o la biomasa, y puede ser usada en alta resolución espacial y temporal en grandes áreas. Los sensores utilizados para la estimación de biomasa tienen diferentes características en cuanto a resoluciones espectrales, espaciales y temporales (Paruelo y otros., 2000; Paruelo y otros., 2004; Aragón y Oesterheld, 2008, Grigera y Oesterheld, 2020). El principio que tiene este tipo de estimación remota, es la medición de la radiación espectral reflejado por la canopia de las plantas, donde la reflectancia de la radiación se ve afectada por el índice de área foliar (IAF), que está relacionado con la cobertura vegetal y la biomasa total de la pastura. El objetivo que tiene este tipo de análisis es extraer cuantitativamente información espectral de una imagen con vegetación, eliminando aquellos ruidos provenientes del suelo, atmósfera (nubes) e instrumentos.

Es muy común el uso de índices de vegetación, las cuales se calculan combinando matemáticamente diferentes bandas de longitud de onda. La mayoría de los índices de vegetación utilizan longitudes de onda de las bandas Rojo (R: 600- 700 nm) e Infrarrojo Cercano (NIR: 750-1000 nm). La banda del R corresponde a la absorción del rojo por la clorofila, y la banda NIR está relacionada a la cantidad de reflectancia proporcional a la densidad de hojas verdes. De esta forma, los índices de vegetación, sobre todo los que se basan en relaciones NIR/R, son utilizados para la estimación de la disponibilidad de biomasa, índice de área foliar (IAF), porcentaje de cobertura y fracción de radiación fotosintéticamente activa absorbida (fAPAR). Al igual que los otros predictores, estos deben ser calibrados anteriormente ya que varían entre los sitios y sensores. (Insua y otros, 2020). Además, el comportamiento de los índices puede utilizarse directamente

cómo indicador de la evolución de la vegetación en el tiempo (su crecimiento, fertilidad, manejo, etc), es decir para el seguimiento de los cultivos.

El índice de vegetación de diferencia normalizada (IVN) es uno de los más utilizados para estimar producción de forraje ya que se basa en la relación NIR/R y es un buen indicador del porcentaje de radiación absorbida por la pastura y también de las tasas de crecimiento. el IVN es un indicador del verdor del material vegetal que va desde el cero hasta el 1 (Irisarri y otros, 2013; Grigera y Oosterheld. 2020)

1.4. Especie de estudio

La alfalfa (*Medicago sativa* L.) es una especie de planta herbácea perteneciente a la familia de las fabáceas o leguminosas, es la principal especie forrajera estudiada del país. Su difusión se apoya a sus altos rendimientos de materia seca, su excelente calidad forrajera y su gran adaptabilidad a diversas condiciones ambientales (suelo, clima y manejo) (Mazzanti y otros, 1993). En esta especie, los cultivares se clasifican en grupos del 1 al 11, en función de su grado de latencia o reposo invernal (GR1= mayor latencia invernal, GR11= menor latencia invernal). En nuestro país, aproximadamente el 80% de la siembra de alfalfa corresponde a cultivares sin reposo invernal (GR8, GR9 y GR10); mientras que, el 20% restante a cultivares con reposo invernal intermedio (Teuber et al., 1988; Spada, 2007). Si bien en determinadas regiones se observan diferencias productivas entre cultivares de alfalfa que difieren en su grado de reposo invernal, en el sudeste bonaerense no se observan grandes diferencias en el rendimiento acumulado ni en la distribución estacional de materia seca entre cultivares con reposo intermedio y sin reposo. El comienzo del activo crecimiento de alfalfa a fin de invierno o inicio de primavera está determinado por el aumento de las temperaturas y del fotoperiodo y es positivamente influenciado por la removilización de reservas, principalmente nitrogenadas, desde la raíz-corona (Clausen, 2019).

En la Argentina, la mayor parte de las pasturas base alfalfa se utilizan bajo pastoreo directo (Basigalup, 2007). El pastoreo continuo de esta especie, muy difundido en el pasado, ha sido sustituido progresivamente por sistemas rotativos con grados variables de intensificación en lo que respecta al número de subdivisiones de los potreros. Bajo pastoreo continuo, las plantas individuales de alfalfa se encuentran sometidas a una defoliación tan frecuente que conduce a un debilitamiento general de las mismas, con menor producción de forraje y reducción de su sistema radicular. Esto acelera la muerte de la planta ante situaciones adversas como períodos de sequía, ataques de plagas o enfermedades, heladas intensas (Moot y otros, 2003).

En el centro de la provincia de Buenos Aires las pasturas de alfalfa se realizan puras o en mezcla forrajera, principalmente con gramíneas como la festuca, cebadilla o pasto ovillo. Una de las principales ventajas de las pasturas compuestas por varias especies, respecto de pasturas puras es la mayor producción de forraje (Cardinale y otros, 2007), consecuencia de una mayor eficiencia en la utilización de recursos tanto en la escala temporal (Husse y otros, 2016) como espacial (Li y otros, 2006). Entre otras ventajas que presentan las pasturas compuestas por varias especies (en adelante mezclas) respecto de las pasturas mono-específicas se podrían destacar: una mayor estabilidad anual de la oferta forrajera, mayor competencia con las malezas y, cuando la mezcla incluye leguminosas y gramíneas, menor riesgo de timpanismo.

En función a todo lo mencionado anteriormente resulta de importancia contar con uno o varios métodos de monitoreo que nos permitan definir la rotación de los animales en diferentes parcelas de una pastura para favorecer su aprovechamiento, producción y persistencia. A su vez, generar experiencias relacionadas al uso de nuevas tecnologías para el seguimiento forrajero, cómo los productos generados a partir de imágenes satelitales.

1.5. Objetivo

Objetivo general: Evaluar el comportamiento del índice de vegetación normalizado calculado con imágenes de los satélites Landsat 8 y Sentinel 2 en pasturas base alfalfa (*Medicago sativa*) y su relación con la productividad.

Objetivos específicos:

- Relacionar el stock forrajero de una pastura de alfalfa y festuca con el IVN calculado con imágenes satelitales de las misiones Landsat 8 y Sentinel 2
- Describir el comportamiento del IVN de diferentes pasturas de alfalfa pura o en mezclas forrajeras durante el periodo de 1 año.
- Discutir la potencialidad del IVN como herramienta de monitoreo de pasturas de alfalfa puras o consociadas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Relación entre stock forrajero e Índice de Vegetación Normalizado

Esta actividad se realizó en el establecimiento “La Emilia”, perteneciente al cuartel III del partido de Olavarría ($36^{\circ}45'11.4''\text{S}$, $60^{\circ}24'12.8''\text{W}$), ubicado en el centro de la provincia de Buenos Aires. El lote en el cual se recolectó la información tiene una superficie de 50 hectáreas, dividido en 6 parcelas de 8 hectáreas aproximadamente cada una (Figura 1). La historia del lote se basa en más de 20 años de agricultura, donde se realizaban cultivos como: soja, maíz, girasol, cebada y trigo. En marzo de 2019 se implantó una pastura de alfalfa y festuca mediterránea.

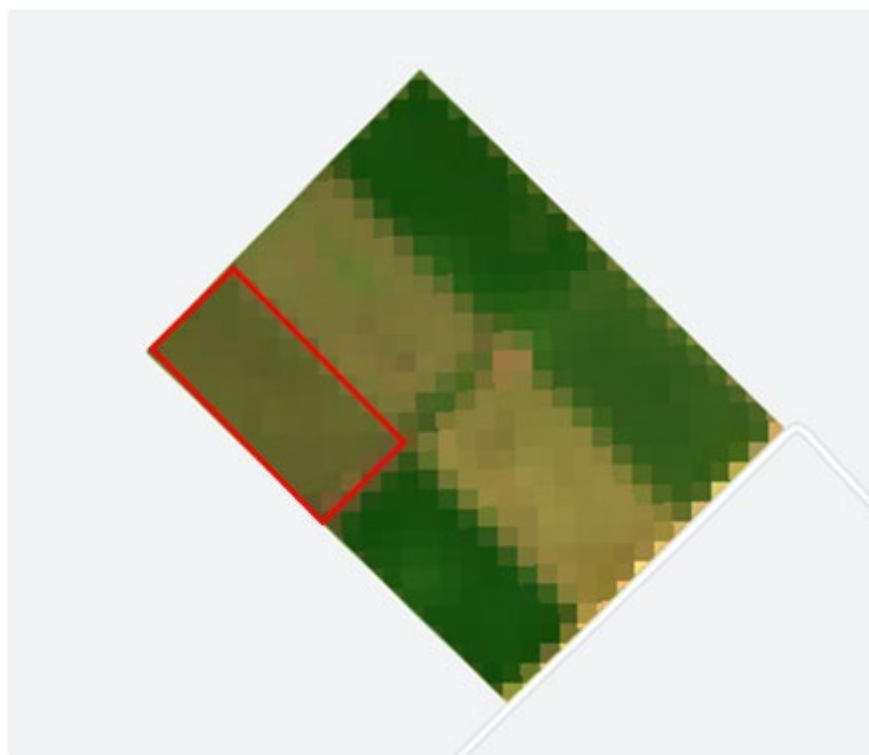


Figura 1. Imagen del lote de estudio en color natural provista por el satélite Landsat-8 en la fecha 7 de octubre de 2020. El rectángulo rojo indica la parcela en la que se realizó el seguimiento y recolección de datos.

Para la estimación del stock forrajero se utilizó el método indirecto de la regla graduada que cuenta con una lengüeta acrílica que se desplaza sobre la misma hasta tocar la primera hoja verde sin disturbar la vegetación. Las mediciones de altura del forraje (25) se hicieron recorriendo la parcela en forma zigzagueante al inicio de cada pastoreo y luego de la salida de los animales (remanente) durante los meses de octubre de 2020 y

marzo de 2021. También se registró el estado fenológico observando la cantidad de las plantas de alfalfa (revisando entre 5 y 10 plantas) de la pastura. En las visitas a campo que correspondan a periodos de restricciones de circulación por la pandemia Covid-19 la información a campo fue recolectada por técnicos del INTA Olavarría autorizados para circular por la institución. Se calculó la altura promedio de la parcela. Se calculó la biomasa aérea, o disponibilidad forrajera, en función de la altura. La calibración de altura y disponibilidad se realizó con entre 3 y 5 unidades de muestreo de 50 x 50 cm, en las cual se midió la altura con la regla de Bircham (5 toques sobre la superficie) y, posteriormente, se cortó el forraje disponible. Las muestras de forraje recolectadas se pesaron en fresco y el peso seco se obtuvo luego de secar en estufa con circulación forzada de aire a 60°C durante 48 horas; en base a ello se determinó el contenido de MS (%). Con la información obtenida de altura y peso seco de la biomasa aérea se calcularon las ecuaciones de regresión que se utilizaron posteriormente para estimar la biomasa.

Para la obtención del IVN de la pastura se realizó el monitoreo de la parcela en estudio utilizando imágenes disponibles del satélite Landsat 8 de la National Aeronautics and Space Administration (NASA) y de los satélites Sentinel 2 de la European Space Agency (ESA). El IVN permite estimar la proporción de luz solar absorbida por el forraje para la fotosíntesis, la cual está muy relacionada con la producción de forraje. El forraje verde refleja poca radiación de "color rojo" (R) y mucha radiación infrarroja (IR). Para el procesamiento de las imágenes se utilizó la herramienta Google Earth Engine (GEE), en el Anexo I están descriptos los métodos utilizando lenguaje de programación Java Script en el editor de código de la plataforma. En el mismo se seleccionaron las imágenes disponibles de un producto de la misión Landsat 8 identificado en GEE como LANDSAT/LC08/C02/T1_L2 el cual posee una resolución espacial de 30x30 m y de los disponibles de un producto de los satélites Sentinel 2 identificado en GEE como COPENICUS/S2_SR el cual tiene una resolución espacial de 10x10 m. Se filtraron las imágenes con una nubosidad menor al 20% y se visualizaron en color natural para descartar las que tuvieran algún efecto poco deseado (nubes, sombra de nubes, no cubrieron la totalidad del área de estudio. Posteriormente se procedió a elaborar los mapas de IVN utilizando QGis (Anexo II) y se calculó el promedio en la superficie de las parcelas en estudio. Este valor se lo relacionó con la disponibilidad estimada a campo. Como las imágenes no coincidían con las fechas de corte se interpolaron los datos de disponibilidad.

2.2. Monitoreo de IVN en lotes productivos

Se recorrieron 11 lotes productivos durante los meses de diciembre 2022 y marzo de 2023 de pasturas de alfalfa pura o consociada. En la Figura 2 se puede observar su distribución. Diez lotes se encontraban en el partido de Olavarria y 1 en el partido de Laprida. En las visitas se tomaron datos de la ubicación y estado general de las pasturas y se realizó una encuesta a los asesores de cada establecimiento para conocer características del manejo de cada lote: fecha de siembra, cultivo antecesor, primer pastoreo, tipo de pastoreo, entre otras.

Para caracterizar el comportamiento de IVN de cada pastura con las imágenes de las misiones satelitales Landsat 8 y Sentinel 2, se procedió de manera similar al punto 2.1. Entre el periodo de junio de 2022 y junio de 2023 se seleccionaron las imágenes disponibles para cada pastura y se construyeron los mapas de IVN con la herramienta GEE. Con el IVN promedio de cada lote se construyeron las curvas de comportamiento de mismo. Se calcularon estadísticos relacionados a cada curva y disponibilidad de datos entre las distintas pasturas.



Figura 2. Mapa de ubicación de los lotes productivos monitoreados, en donde se evaluaron las pasturas.

2.3. Análisis estadístico

Se utilizó el promedio, el valor máximo y mínimo como principales parámetros estadístico descriptivo de la disponibilidad de las pasturas. Se realizaron regresiones exponenciales para relacionar el IVN con la disponibilidad forrajera. El análisis estadístico se realizó utilizando el paquete R para Windows (R Core team, 2014).

3. RESULTADOS

3.1. Relación entre stock forrajero e Índice de Vegetación Normalizado

Durante el periodo de este trabajo se evaluaron 5 rebrotes, los resultados obtenidos a campo de estimación de disponibilidad de la pastura de alfalfa y festuca por el método de la regla graduada pueden observarse en la Tabla 2. Al ingreso del pastoreo el promedio de altura fue 41,2 cm y a la salida del pastoreo fue de 6,1 cm. Con la información obtenida de los rebrotes (entradas y salidas de pastoreo) se construyó una gráfica que permitió relacionar la altura con la disponibilidad de forraje (Figura 3). En ese sentido, podemos observar que la variabilidad de la producción de biomasa estuvo explicada en un 98% por la altura del forraje ($P < 0,001$), estos datos son coincidentes con lo reportados por Berone y otros (2022). Al ingreso de los pastoreos la cantidad de nudos por tallo fue 10,5 y a la salida de los animales fue en promedio 1,4 nudos. La disponibilidad forrajera estimada fue en promedio al ingreso de los pastoreos 3167 KgMS/ha y del remanente de 425 KgMS/ha lo que garantizó un adecuado consumo de forraje por los animales.

Tabla 1. Altura promedio en cm (n=25), hojas por macollo (n=5 a n=10), y biomasa estimada (KgMS/ha) en los periodos de descanso (salida de los animales) y pastoreo (ingreso de los animales) de la pastura alfalfa-festuca.

Periodos	Fecha	Altura	Nudos	Biomasa	Past/desc
1	25-sep	5,5	1,4	446	descanso
	28-oct	33,9	10	2812	pastoreo
2	4-nov	6,1	1,6	447	descanso
	26-nov	48,2	10,2	3409	pastoreo
3	15-dic	6,1	1,2	342	descanso
	15-ene	46,2	12	3766	pastoreo
4	18-ene	6,2	1,4	511	descanso
	5-feb	41	10,8	3309	pastoreo
5	14-feb	6,8	1,6	378	descanso
	11-mar	36,6	9,4	2540	pastoreo

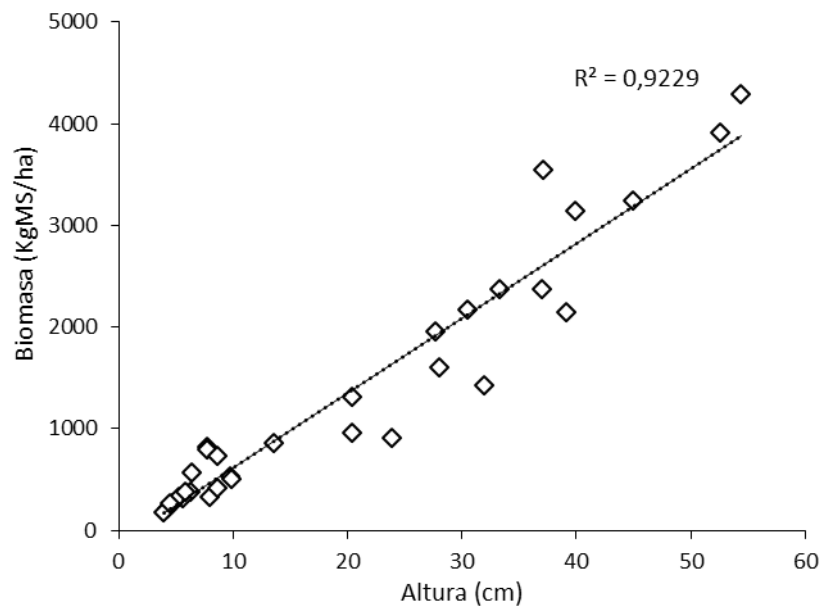


Figura 3. Relación entre la altura y la disponibilidad del forraje en la pastura de alfalfa y festuca para los 5 rebrotes analizados entre septiembre de 2020 y marzo de 2021. Valor $p < 0,001$.

En el periodo correspondiente a los 5 rebrotes se encontraron 12 imágenes Landsat 8, que posterior al filtrado por nubes, se consideraron útiles para realizar el seguimiento de la pastura, a modo de ejemplo se muestra la imagen correspondiente al día 17/11/2020 (Figura 4). De esas 12 imágenes, 10 fueron durante periodos de descanso de la pastura (ver Anexo II), las cuales fueron utilizadas para la estimación de forraje. En la Tabla 2 se puede observar el valor de IVN de la parcela de estudio en las imágenes seleccionadas y la correspondiente estimación de biomasa (BE) calculada como $BE = r + (tc \cdot d)$, donde r es el remante posterior a la salida de los animales, tc es la tasa de crecimiento del periodo y d son los días del comienzo del periodo de rebrote hasta la fecha de la imagen. La tc fue calculada como $tc = (bf - bi)/dt$, donde bf o biomasa final de cada periodo es la estimación previa al ingreso de los animales, bi o biomasa inicial es la estimada al inicio del rebrote y dt son los días totales entre la salida de los animales y el ingreso a pastorear nuevamente, es decir la cantidad total de días que duró cada periodo.

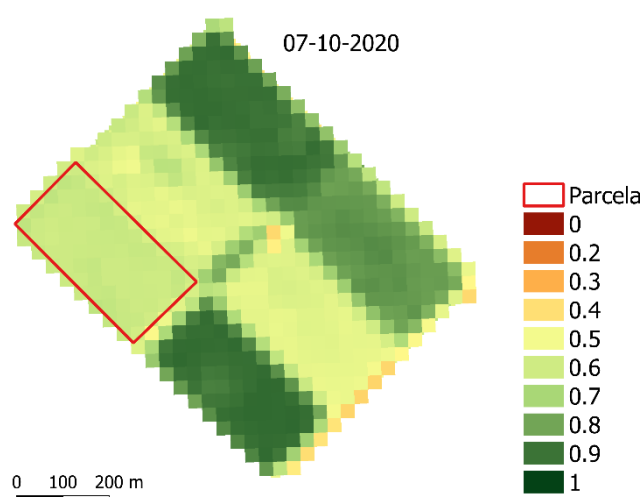


Figura 4. Mapa de índice de vegetación normalizado del lote de estudio elaborado con una imagen del satélite Landsat 8 de la fecha 7 de octubre de 2020. El rectángulo rojo indica la parcela en la que se realizó el seguimiento y recolección de datos.

Tabla 2. Estimación de biomasa (KgMS/ha) de la pastura de alfalfa en las fechas con imágenes de los satélites Landsat 8 disponibles. Past/desc indica ingreso y salida de animales, tc la tasa de crecimiento e IVN el índice de vegetación normalizado promedio de la parcela.

Periodo	Fecha	Past/desc	tc	IVN	Días	Biomasa estimada
1	25/09/2020	descanso				
	07/10/2020			0,61	12	1306
	16/10/2020			0,83	21	1952
	28/10/2020	pastoreo	71,7		33	2812
2	04/11/2020	descanso			6	
	17/11/2020			0,84	13	2197
	26/11/2020	pastoreo	134,6		22	3409
3	15/12/2020	descanso			20	
	26/12/2020			0,70	11	1557
	15/01/2021	pastoreo	110,5		30	3766
4	18/01/2021	descanso			3	
	20/01/2021			0,60	2	822
	27/02/2021			0,81	9	1910
	05/02/2021	pastoreo	155,4	0,88	18	3309
5	14/02/2021	descanso			9	
	21/02/2021			0,67	7	983
	28/02/2021			0,81	14	1589
	09/03/2021			0,84	23	2367
	11/03/2021	pastoreo	86,5		25	2540

De igual manera se procedió con las imágenes del producto Sentinel 2, posterior al filtrado por nubes, se consideran útiles para realizar en el seguimiento de la pastura 17 imágenes, a modo de ejemplo se muestra la imagen correspondiente al día 17/11/2020 (Figura 5). De esas 17 imágenes, 10 fueron durante periodos de descanso de la pastura

(ver Anexo IV). En la Tabla 3 se puede observar el valor de IVN de la parcela de estudio en las imágenes seleccionadas y la correspondiente estimación de biomasa.

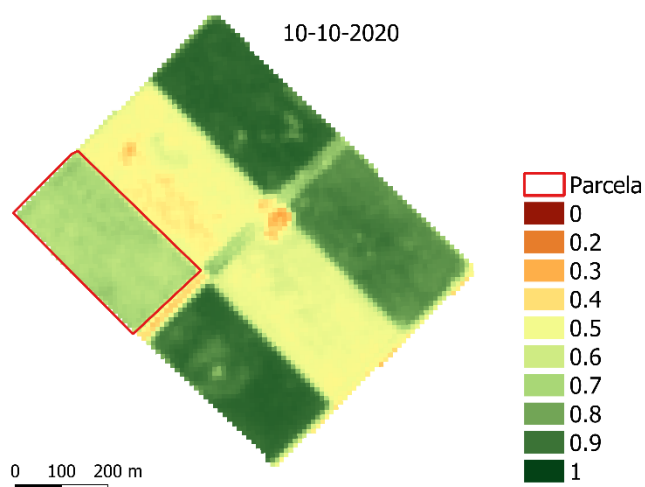


Figura 5. Mapa de índice de vegetación normalizado del lote de estudio elaborado con una imagen del satélite Sentinel 2 de la fecha 10 de octubre de 2020. El rectángulo rojo indica la parcela en la que se realizó el seguimiento y recolección de datos.

Tabla 3. Estimación de biomasa (KgMS/ha) de la pastura de alfalfa en las fechas con imágenes de los satélites Sentinel 2 disponibles. Past/desc indica ingreso y salida de animales, tc la tasa de crecimiento e IVN el índice de vegetación normalizado promedio de la parcela.

Periodo	Fecha	Past/desc	tc	IVN	Dias	Biomasa estimada
1	25/9/2020	descanso				
	10/10/2020			0,68	15	1522
	15/10/2020			0,83	20	1880
	28/10/2020	pastoreo	71,7		33	
2	4/11/2020	descanso			6	
	19/11/2020			0,90	15	2467
	26/11/2020	pastoreo	134,6	0,84	22	
3	15/12/2020	descanso			20	342
	29/12/2020			0,78	14	1888
	13/1/2021			0,89	29	3545
	15/1/2021	pastoreo	110,5		30	3766
4	18/1/2021	descanso			3	
	23/1/2021			0,62	5	1288
	5/2/2021	pastoreo	155,4	0,88	18	
5	14/2/2021	descanso			9	
	27/2/2021			0,80	13	1502
	9/3/2021			0,84	23	2367
	11/3/2021	pastoreo	86,5		25	2540

En la Figura 6 se puede observar que la variabilidad de la producción de biomasa estuvo explicada en un 82% por el IVN calculado con las imágenes Landsat 8 y un

86% por el IVN calculado con las imágenes Sentinel 2, siendo ambos modelos ajustados significativos ($p < 0,001$). Al comparar ambos modelos estadísticamente los mismos fueron similares ($p < 0,01$). En consecuencia, se procedió a ajustar un único modelo que relacione el IVN calculado con los datos de ambos satélites, con la biomasa estimada, el cual se puede observar en la Figura 7. Este modelo también es significativo ($p < 0,001$) y explica la variación de biomasa en función del IVN en un 80%.

Los resultados obtenidos que relacionan el IVN y la disponibilidad forrajera en el periodo de estudio son elevados, si comparamos con otros trabajos en los que este tipo de índice explica entre el 55 y el 80% de la variabilidad. Estas diferencias pueden ser explicadas por cuestiones relacionadas a la pastura (especie, manejo, estado de desarrollo), del producto satelital con el que se trabajó y del procesamiento del mismo.

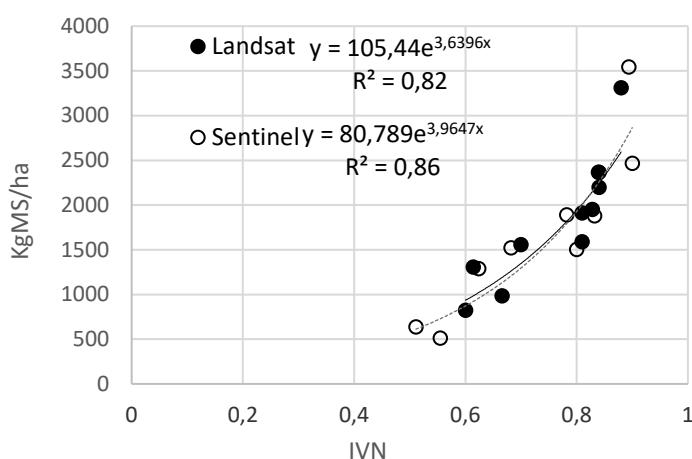


Figura 6. Relación entre el índice de Vegetación Normalizado (IVN) estimado con imágenes de las misiones satelitales Landsat 8 y Sentinel 2, y la disponibilidad de la pastura de alfalfa (kgMS/ha) en el periodo comprendido entre 25/9/2020 y 11/03/20201. El valor p del modelo ajustado para las imágenes de Landsat 8 es $< 0,001$. El valor p del modelo ajustado para las imágenes de Sentinel 2 es $< 0,001$.

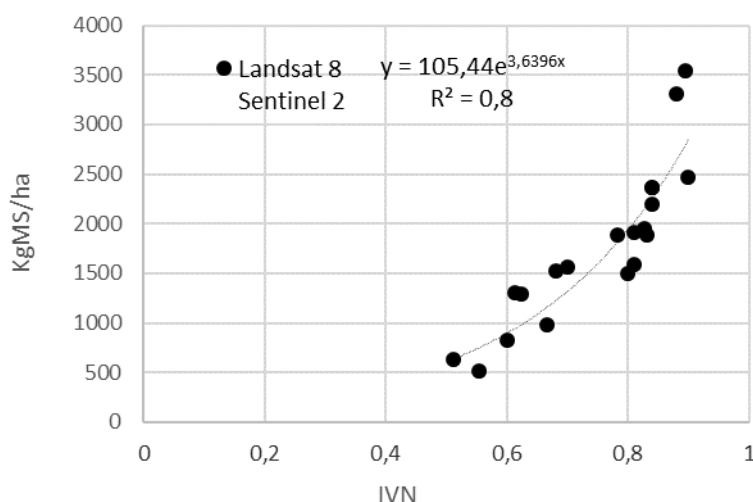


Figura 7. Relación entre el índice de Vegetación Normalizado (IVN) estimado con imágenes de las misiones satelitales Landsat 8 y Sentinel 2, y la disponibilidad de la pastura de alfalfa (kgMS/ha) en el periodo comprendido entre 25/9/2020 y 11/03/2021. El valor p del modelo ajustado es $< 0,001$.

3.2. Monitoreo de IVN en lotes productivos

Durante los meses de diciembre de 2022 y marzo de 2023 se visitaron 11 pasturas en establecimientos del partido de Olavarría y Laprida dedicados a la producción de carne y leche. En la tabla 5 se puede observar un resumen de los resultados obtenidos de la encuesta realizada a los asesores de cada establecimiento que nos permitió conocer características de las pasturas como su composición, fecha y tipo de siembra, cultivo antecesor, y si sufrieron algún tipo de estrés hídrico durante el periodo estudiado.

La superficie de las pasturas recorridas varió entre 6,5 y 50 ha, las de menor superficie se encuentran en sistemas productivos de leche y las de mayor superficie en sistemas productivos de carne. La escala de manejo permite la utilización de imágenes provenientes tanto de la misión Landsat 8 que tienen una resolución espacial de 30 m, como de Sentinel 2 que tienen una resolución espacial de 10 m. Cuatro de los lotes fueron sembrados durante el 2022 (A, B, F y G), por lo que se encontraban transitando el año de implantación y los otros 7 se encontraban en plena productividad (segundo o tercer año de producción). El tipo de siembra predominante de las pasturas fue directa, aunque los lotes A, B y C se sembraron en convencional. Otra cuestión para destacar es que durante el año estudiado las condiciones hídricas no fueron las más favorables, por lo que las pasturas sufrieron en su mayoría estrés. En la Figura 8 se pueden observar las

precipitaciones mensuales ocurridas duran mayo del 2022 y abril de 2023, y las históricas para el mismo periodo. En los primeros 6 meses evaluados (mayo – octubre), las precipitaciones fueron en promedio un 50% inferiores a las históricas, mientras que los últimos 6 meses (noviembre – abril) similar a la media.

Tabla 4. Historia de las pasturas de los lotes estudiados durante el periodo 1/5/2022 y 30/4/2023.

Producción	Lote	Superficie (ha)	Composición Grupo	Fecha de siembra	Tipo de siembra	Cultivo antecesor	Estrés hídrico
Leche	A	6,5	Pura - 9	21/4/2022	Convencional	Maíz	si
	B	6,5	Pura - 10	22/4/2022	Convencional	Maíz	si
	C	6,5	Pura - 11	23/4/2019	Convencional	Maíz	si
Leche	D	18	Pura - 6	25/4/2022	Directa	Maíz	si
	E	18	Pura - 6	15/4/2021	Directa	Maíz	no
	F	6	Pura - 6	15/4/2021	Directa	Maíz	si
Leche	G	18	Pura - 6	22/3/2022	Directa	Maíz	si
Carne	H	30	Pura - 8	10/3/2021	Directa	Girasol	si
	I	50	Mezcla 8	19/3/2019	Directa	Girasol	si
Carne	J	27	Mezcla 8	15/4/2021	Directa	Sorgo	si
Carne	K	33	Mezcla 9	16/4/2021	Directa	Girasol	si

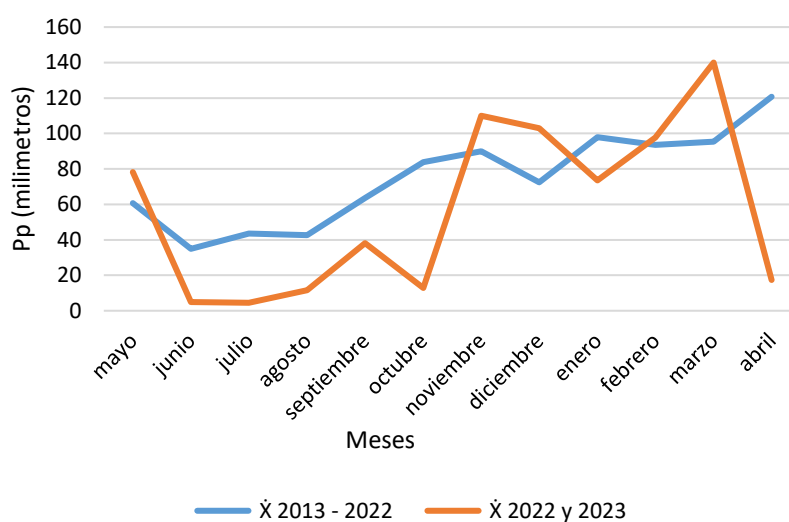


Figura 8. Promedio (X) de precipitaciones mensuales de 10 años (2013 - 2022) y del periodo mayo 2022 a abril 2023 en de la estación del Servicio meteorológico Nacional del partido de Olavarría.

En la Tabla 5 se pueden observar los estadísticos del IVN calculados en función a las imágenes disponibles del satélite Landsat 8 de cada lote durante el periodo de estudio de

1/5/2022 al 30/4/2023. El número de imágenes encontradas para realizar el monitoreo de las pasturas fue en promedio 18, lo que correspondería a una imagen cada 20 días. Sin embargo, se puede observar que algunos lotes como el K tuvo 10 imágenes de calidad disponibles, un 45% menos que el promedio de todos los lotes, lo que implicaría una imagen útil cada 37 días. Esto nos indica que, si bien la revisita del satélite a cada sitio es en promedio de 16 días, la información disponible de calidad puede variar en función a la ubicación geográfica, la presencia de nubes u otros ruidos característicos de las imágenes ópticas.

El promedio general de IVN de todos los lotes fue 0,62, a su vez la media en cada uno de ellos varió entre 0,5 y 0,71. El promedio de los valores mínimos de cada lote fue 0,42, el cual varió entre 0,28 y 0,49, los valores inferiores se observaron en los lotes A, B, D y G. Estos lotes fueron implantados en el año 2022, y durante los 6 primeros meses se pudo observar el periodo de implantación de esas pasturas en los gráficos elaborados en el Anexo V. En cuanto a los valores máximos de IVN se obtuvo un promedio de 0,82, que varió entre 0,74 a 0,89.

Tabla 5. Estadísticos calculados para los valores de IVN de cada lote proveniente de imágenes de la misión satelital Landsat 8 en el periodo 1/5/2022 al 30/4/2023.

Lotes	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
N°Imágenes	19	19	19	18	18	18	19	19	19	18	10
Promedio IVN	0,5	0,5	0,59	0,65	0,71	0,71	0,54	0,7	0,64	0,71	0,59
Maximo IVN	0,74	0,77	0,78	0,88	0,87	0,86	0,76	0,86	0,8	0,86	0,89
Minimo IVN	0,28	0,28	0,4	0,29	0,47	0,45	0,31	0,42	0,43	0,49	0,43

En la Tabla 6 se pueden observar los estadísticos del IVN calculados en función las imágenes disponibles del satélite Sentinel 2 de cada lote durante el periodo de estudio de 1/5/2022 al 30/4/2023. En la misma se puede ver que el número de imágenes encontradas para realizar el monitoreo de las pasturas fue en promedio 42, lo que correspondería a una imagen cada nueve días. Sin embargo, se puede observar que algunos lotes como el H tuvo 27 imágenes de calidad disponibles, un 37% menos que el promedio de todos los lotes, lo que implicaría una imagen de calidad cada 14 días. En oposición, el lote J tuvo 59 imágenes de calidad disponibles, un 40% más que el promedio de todos los lotes, lo que implicaría una imagen de calidad cada seis días. La misión Sentinel 2 tiene un promedio de revisita en cada sitio de 14 días, pero está compuesta por una constelación de 2 satélites (Sentinel 2A y Sentinel 2B), por lo que la resolución temporal esperada es de una imagen cada 7 días. Al igual que con Lansat 8, las diferencias observadas en los

lotes se deben a que la ubicación geográfica (algunos lotes pueden pertenecer a más de una escena) y también a las características de las mismas.

El promedio general de IVN para todos los lotes fue 0,58, varió entre 0,44 y 0,69. El valor mínimo promedio de todos los lotes fue 0,33, que varió entre 0,24 y 0,39. Al igual que con Landsat 8 las pasturas A, B, D y G fueron en las que se observaron menores valores mínimos, debido a que se sembraron en el 2022. Del mismo modo, los valores máximos de IVN tuvieron un promedio de 0,84, que varió entre 0,71 y 0,91.

Tabla 6. Estadísticos calculados para los valores de IVN de cada lote proveniente de imágenes de la misión satelital Sentinel 2 en el periodo 1/5/2022 al 30/4/2023.

Lotes	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
N° Imágenes	32	32	32	55	54	55	25	27	39	59	51
Promedio IVN	0,44	0,46	0,59	0,58	0,67	0,67	0,47	0,7	0,6	0,69	0,54
Máximo IVN	0,71	0,74	0,78	0,93	0,89	0,91	0,77	0,93	0,84	0,9	0,88
Mínimo IVN	0,25	0,25	0,35	0,24	0,35	0,39	0,26	0,33	0,37	0,3	0,32

Como consideraciones generales de esta sección, podemos decir que se obtuvo mas del doble de información en promedio de la misión satelital Sentinel 2 que de la Landsat 8, pensando en cantidad imágenes de calidad (que no se observen nubes, sombra de nubes u otros ruidos atmosféricos). Sin embargo, en función a los resultados de la sección 3.1. es posible utilizar la información de ambas misiones satelitales combinadas para el seguimiento de pasturas, por lo que en promedio en este estudio se contó un imagen disponible cada 6 días (60, 42 Sentinel 2 + 18 Landsat 8). En la Figura 9 se puede observar un resumen de los principales estadísticos que caracterizaron el comportamiento del IVN de las pasturas calculado con los datos de ambas misiones satelitales. En general los valores medios máximos y mínimos calculados con Landsat 8 y Sentinel 2 se comportaron de forma similar, a pesar de que los lotes tenían diferentes historias de manejo previas. Se pudo observar que el IVN en las pasturas implantadas durante el 2022 fue inferior a los lotes que y tenían por lo menos 1 año de productividad. Sería conveniente realizar un estudio durante una mayor cantidad de año para construir una firma espectral robusta de este tipo de pasturas.

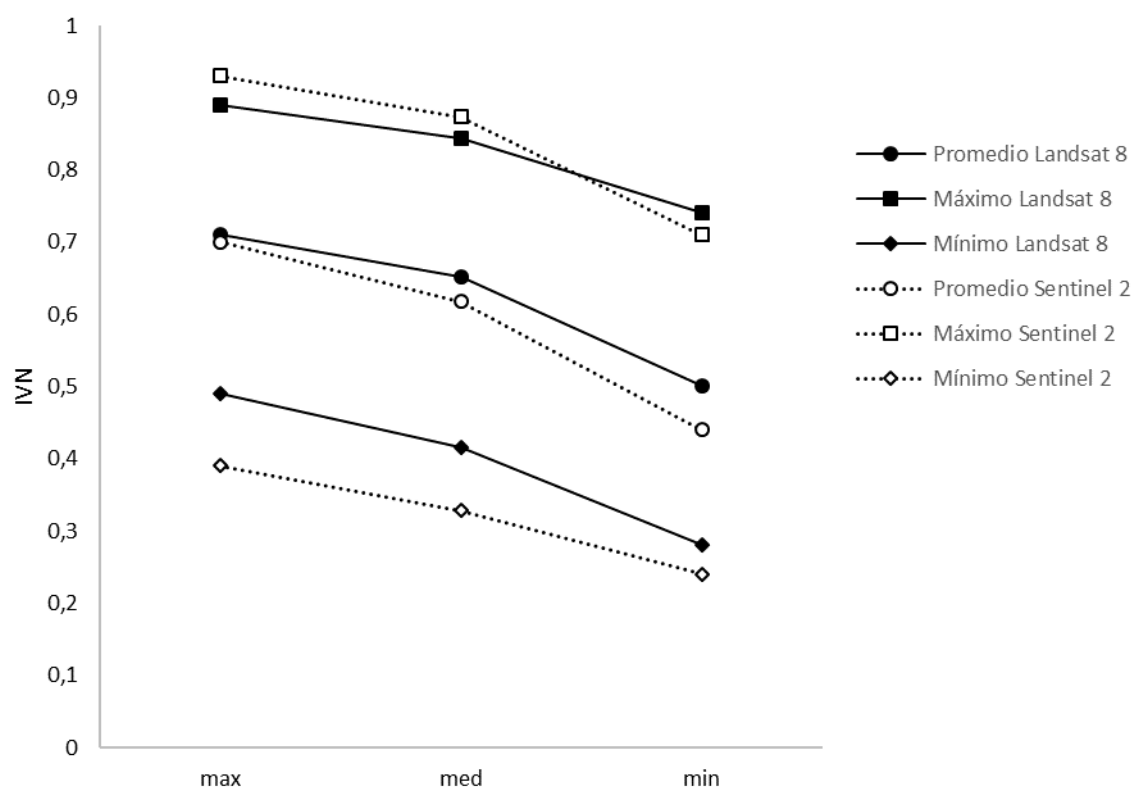


Figura 9. Máximos (max), medios (med) y mínimos (min) de los valores máximos de IVN (cuadrados), promedio de IVN (círculos), y mínimo de IVN (rombos) calculados en los 11 lotes de pasturas de alfalfa pura o mezcla forrajera con imágenes de la misión Landsat 8 (línea sólida) y Sentinel 2 (línea punteada).

4. DISCUSIÓN

En el capítulo de resultados se presentó información relacionada al seguimiento y la productividad de pasturas base alfalfa en el área de influencia del partido de Olavarría, provincia de Buenos Aires. Durante este capítulo discutiremos cuestiones relacionadas a la posibilidad de generar información como insumo para modelos que relacionen el IVN y la disponibilidad forrajera. También, a la potencialidad del IVN como herramienta para el asesoramiento ganadero y el monitoreo de recursos forrajeros en una región.

En la sección 3.1. se ha relacionado el IVN con el stock forrajero de una pastura mezcla forrajera de alfalfa y festuca mediterránea. Si bien existen antecedentes en los que el uso del IVN como insumo para la modelación de la productividad supera el 75%, en general se espera que la capacidad para caracterizar la variabilidad de la producción como única variable tenga una menor performance (Vazquez y otros, 2018). Por ejemplo, en un trabajo realizado en una pastura de festuca y trébol blanco en el partido de Olavarría, el R^2 del modelo ajustado entre el IVN calculado con imágenes satelitales y el stock forrajero fue 0,59 (Rosseti, 2022). La incertidumbre en la estimación de la producción mediante índices de vegetación extrapolados a partir de imágenes satelitales multiespectrales está relacionada con varios factores (De Peppo y otros, 2019). El primero de ellos es el tipo de recurso forrajero, debido a la variabilidad de las arquitecturas vegetales y el coeficiente de extinción de la luz que es muy variable entre especies, y esta característica es fundamental en los aspectos físicos que fundamentan la utilización de índices como el IVN. Otro de los factores es el efecto de covariables ambientales como precipitaciones en el período estudiado o características del suelo y del paisaje, lo que afecta el desarrollo del cultivo junto con el manejo de un establecimiento. Sin embargo en este trabajo el modelo ajustado integrando los datos de ambas misiones satelitales (Landsat 8 y Sentinel 2) tuvo un R^2 elevado de 0,80, lo que se puede atribuir a varias cuestiones. La primera es que la estimación de forraje se realizó con un método lo suficientemente robusto a escala lote (Figura 3), como es el de la regla graduada, el cual ha sido evaluado con anterioridad para pasturas perennes en nuestra región (Berone y otros, 2022). En ese sentido relacionar stock de forraje o crecimiento de una pastura es bastante más complejo que el rendimiento de un cultivo, el cual actualmente se puede realizar directamente con datos obtenidos por sensores de rendimiento de cultivos. Si bien construir modelos para estimar la producción de forraje es una tarea bastante compleja, consideramos que de contar con información a campo confiable el IVN es una herramienta potente para los asesores ganaderos en la región.

Otra cuestión relevante en los resultados favorables obtenidos con el modelo, se debe al manejo de la pastura (Tabla 2). Como mencionamos anteriormente el IVN es una buena herramienta para estimar la proporción de luz solar absorbida por el forraje para la fotosíntesis, es bueno en estimar la producción de la vegetación cuando la misma esta sana y se mantiene verde. En la pastura estudiada no ocurrieron situaciones de sobrepastoreo o subpastoreo durante el periodo evaluado. Por último pudimos observar al igual que en otros estudios que es posible combinar información de diferentes sensores (Bretas y otros, 2021), pensando en productos con similar escala de procesamiento, cómo fue en este caso los utilizados proveniente de las misiones satelitales Landsat 8 y Sentinel 2 para la construcción de los modelos productivos.

En cuanto a la potencialidad del IVN como herramienta para el asesoramiento ganadero y el monitoreo de recursos forrajeros en una región, se pudieron obtener suficiente cantidad de imágenes de cada satélite durante el periodo de 1 año que permitan ver la evolución de la vegetación (ver anexo iv). Si bien este concepto no es novedoso, ya que en la actualidad existen muchas herramientas que visualizan y grafican el comportamiento del IVN en establecimientos productivos tanto agrícolas como ganaderos (Auravant, Boosteragro, Fieldview, OneSoil, entre otros), las tablas resumen de cada sensor nos permitieron visibilizar la variabilidad en la cantidad de información de similar calidad que se encontró en 1 año en la región evaluada. En el caso de Landsat 8 se encontró una imagen entre 20 y 47 días según el lote, y en el caso de Sentinel 2 entre 6 y 14 días. Si bien la potencialidad de un sensor de brindar información esta directamente relacionada con la revisita del mismo a un sitio determinado y su respectiva ubicación geográfica, es muy importante cuando se trabaja en una región poder generar estos indicadores ya que no es lo mismo la presencia de nubes en cada zona (Mieza y otros, 2012). En cuanto a los estadísticos que nos permiten evaluar el comportamiento del IVN, si observamos la Figura 9, podemos ver que integrando los datos de todas las pasturas se pudieron diferenciar claramente secciones de valores mínimos, promedio y máximos durante el periodo evaluado, a pesar de estar las pasturas ubicadas en diferentes establecimiento con diferente historia previa (Tabla 5) y ser un año particularmente seco. En las pasturas sembradas durante el 2022 se pudo observar claramente el periodo de implantación y primer pastoreo (ver Anexo V). Estos resultados nos permiten pensar en la posibilidad de construir modelos de producción de pasturas base alfalfa en regiones con características productivas similares.

Entre los interrogantes que quedan de este trabajo esta si se podría utilizar el modelo generado en el punto 3.1 para las pasturas del punto 3.2. Probablemente no directamente

porque fue contruido con información de sólo 6 meses (durante el mayor crecimiento de la alfalfa), y en un solo año. Pero es probable que un asesor que trabaje en varios establecimientos y recolecte información a campo de diferentes pasturas en varios años, pueda contruir alguna herramienta que le permita mejorar su calidad de información en relación a la presupuestación forrajera, planificación de pastoreos, etc. Otra cuestión que no se profundizó en este trabajo, como se puede observar en el Añexo II, que el IVN calculado con las imágenes Landsat 8 y Sentinel 2 permitió construir mapas que caracterizan el comportamiento espacial de la pasturas en un lote, por lo que también es una herramienta útil para mejorar el manejo, ambientar el lote, diagramar parcelas, etc.

5. CONCLUSIONES

La utilización del IVN como herramienta para el seguimiento y estimación de la productividad de pasturas de alfalfa puras o consociadas se presenta como una gran oportunidad para facilitar la toma de decisiones en los sistemas ganaderos. Si bien tiene ventajas y desventajas que limitan su implementación de manera continua, se pueden utilizar estratégicamente de manera combinada y oportuna con otros métodos a campo e información sobre el manejo que se realiza en un establecimiento. En la actualidad se encuentran disponibles múltiples herramientas gratuitas o pagas que ofrecen información satelital con cierto grado de procesamiento, por lo que resulta necesario contar con profesionales que estén capacitados en estas temáticas y puedan capitalizar su uso. Esto traerá aparejado mejorar la productividad y utilización de las pasturas, la producción de carne y/o leche, los resultados económicos de las empresas y el impacto ambiental de la ganadería pastoril, con el valor agregado de ahorrar tiempo y esfuerzo.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Aragón, R.; Oesterheld, M. 2008. Linking vegetation heterogeneity and functional attributes of temperate grasslands through remote sensing. *Applied Vegetation Science*, 11(1), 117-130.
- Arelovich, H. M.; Bravo, R. D., & Martínez, M. F. 2011. Development, characteristics, and trends for beef cattle production in Argentina. *Animal frontiers*, 1(2), 37-45.
- Auravant, <https://www.auravant.com> , consultada 9 de septiembre de 2023.
- Basigalup, D. H. 2007. El cultivo de la alfalfa en la Argentina. Edición INTA. [https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta-el cultivo de la alfalfa en la argentina.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta-el_cultivo_de_la_alfalfa_en_la_argentina.pdf)
- Berone, G. D.; Cicore, P. L.; Errecart, P. M.; Insua, J. R.; Jaimes, F.; Maglietti, C. S.; Marino, A.; Oriente, S. 2022. Guía para el manejo de pasturas en función del stock de pasto y la tasa de crecimiento. Ediciones INTA.
- BoosterAgro, <https://boosteragro.com> , consulta 9 de septiembre de 2023.
- Bretas, I. L.; Valente, D. S.; Silva, F. F.; Chizzotti, M. L.; Paulino, M. F.; D'Áurea, A. P.; Paciullo, D.S.C.; Pedreira, B.C.; Chizzotti, F. H. 2021. Prediction of aboveground biomass and dry-matter content in brachiaria pastures by combining meteorological data and satellite imagery. *Grass and Forage Science*.
- Bendersky, D. 2011. ¿No va a alcanzar la cantidad de pasto que tenemos?: Disponibilidad de Pasto: Edicion Inta. <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/disponibilidad-de-forraje-t28969.htm>
- Cangiano, C. A. 1997. Métodos de medición de la fitomasa aérea. Producción animal en pastoreo.
- Cardinale, B.J.; Wright, J.P.; Cadotte, M.W.; Carroll, I.T.; Hector, A.; Srivastava, D.S., Loreau, M.; Weis, J.J. 2007. Impacts of plant diversity on biomass production increase

through time because of species complementarity. Proceedings of the National Academy of Sciences. 104(46): 18123-18128.

Clausen, L. 2019. Fertilización Nitrogenada y manejo de la defoliación en otoño-invierno en una pastura mezcla de alfalfa y festuca. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. 63 p.

De Peppo, M.; Dragoni, F.; Volpi I.; Mantino A.; Giannini V.; Filipponi F.; Tornato A.; Valentini E.; Nguyen Xuan A.; Taramelli A. and Ragaglini G. 2019. "Modelling the ground-LAI to satellite-NDVI (Sentinel-2) relationship considering variability sources due to crop type (*Triticum durum* L., *Zea mays* L., and *Medicago sativa* L.) and farm management". Proc. SPIE 11149, Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XXI, 111490.

Fieldview, <https://climatefieldview.com.ar/> , consultado 25 de octubre de 2023.

Garro, R.; Tallarico, G..2022. Ganadería de precisión: innovaciones tecnológicas que agregan valor a la ganadería. Editorial INTA.

Google Earth Engine. <https://earthengine.google.com/>

Grigera, G. & Oesterheld, M. 2020. Variability of radiation use efficiency in mixed pastures under varying resource availability, defoliation and time scale. Grassland Science.

Hodgson, J.; Mackie, C. K.; & Parker, J. W. G. 1986. Sward surface heights for efficient grazing. Grass Farmer, 24(5).

Husse, S.; Huguenin-elie, O.; Buchmann, N.; Lüscher, A. 2016. Larger yields of mixtures than monocultures of cultivated grassland species match with asynchrony in shoot growth among species but not with increased light interception. Field Crops Research. 194: 1-11.

Insúa, J.R.; Lerra, F.; Berone, G.D. y Utsumi, S.A. 2020. La frecuencia de monitoreo y ajuste forrajero afecta directamente la utilización de pasto y suplementos en recría bovina. 43o Congreso Argentino de Producción Animal. Virtual, Argentina.

- Insúa, J.R. 2021. Monitoreo, evaluación y manejo del pastoreo. Material Capacitación online “Drones, satélites y modelos de simulación para el manejo del pastoreo”. Fundación Fortalecer.
- Irisarri, J. G. N.; Gundel, P. E.; Clavijo, M. D. P.; Durante, M. & Sosa, P. 2013. Estimación de la PPNA y la capacidad de carga por ambientes mediante información satelital en un establecimiento ganadero en la Pampa Deprimida.
- Li, L.; Sun, J.; Zhang, F.; Guo, T.; Bao, X.; Smith, F.A.; Smith, S.E. 2006. Root distribution and interactions between intercropped species. *Oecologia*. 147(2): 280-290.
- Mazzanti, A.; Castaño, J.; Sevilla, G.; & Orbea, J. 1992. Características agronómicas de especies y cultivares de gramíneas y leguminosas forrajeras adaptadas al sudeste de la provincia de Buenos Aires. CERBAS–INTA EEA Balcarce.
- Mieza, M. S.; Kovac, F. D. & Martínez, D. 2012. Imágenes satelitales y aéreas en aplicaciones sitio-específicas. Avances de la agricultura por ambientes en la región semiárida pampeana, 10-14.
- Moot, D.J.; Brown, H.E.; Teixeira, E.I.; Pollock, K.M. 2003. Crop growth and development affect seasonal priorities for lucerne management. *Legumes for Dryland Pastures*. Grassland Research and Practice Series. 11: 201-208.
- OneSoil, <https://onesoil.ai>, consultada 25 de octubre de 2023.
- Paruelo, J. M.; Oesterheld, M.; Di Bella, C. M.; Arzadum, M.; Lafontaine, J., Cahuepé, M.; Rebella, C. M. 2000. Estimation of primary production of subhumid rangelands from remote sensing data. *Applied Vegetation Science*, 3(2), 189-195.
- Paruelo, J. M.; Golluscio, R. A.; Guerschman, J. P.; Cesa, A.; Jouve, V. V.; Garbulsky, M. F. 2004. Regional scale relationships between ecosystem structure and functioning: the case of the Patagonian steppes. *Global Ecology and Biogeography*, 13(5), 385–395.

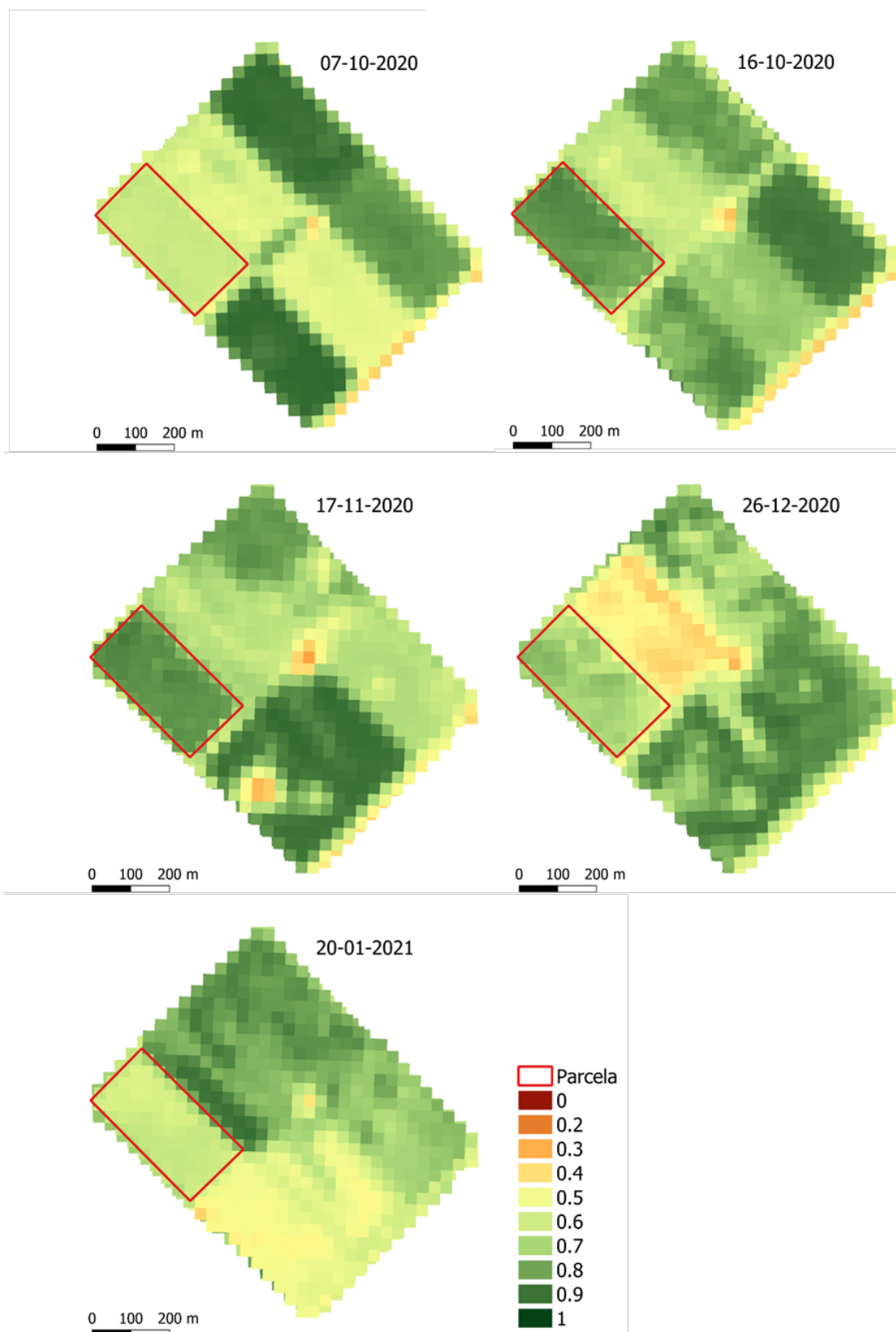
- Pravia, M. I.; Montossi, F.; Dighiero, A.; Porcile, V.; Gutiérrez, D.; & De Barbieri, I. 2013. Estimaciones indirectas de la cantidad de forraje para una mejor gestión de nuestras pasturas. Revista INIA-No, 34, 26.
- R CORE TEAM. 2014. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>. Programa computacional.
- Recavarren, P.; Iturralde, M.R.; Leaden, K.; Martinefsky, J. y Figliuolo, A. 2021. Tablas prácticas para la presupuestación forrajera en el centro de Buenos Aires. Ediciones INTA. p 10. ISBN 978-987-8333-84-7 (digital).
- Rossetti, N. 2022. EVALUACIÓN DE MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE FORRAJE APLICADOS AL MANEJO DE PASTURAS Trabajo final de graduación para optar por el título de: Ingeniero Agrónomo. Universidad Católica Argentina. 56 p.
- Sciaretta, F. 2012. Estimaciones forrajeras, claves para un rendimiento óptimo. Sitio Argentino de Producción Animal. (www.produccion-animal.com.ar).
- Scheneiter, J. O. & Agnusdei, M. G. 2011. El rol de N en la producción de carne. Algunas experiencias en la región pampeana húmeda y sub-húmeda Argentina. Proyecto Regional Ganadero.
- Spada, M.C. 2007. Evaluación de cultivares y panorama varietal. En Basigalup, D.H. (ed.) El cultivo de Alfalfa en la Argentina. Ediciones INTA: Buenos Aires, Argentina. pp. 131-151
- Teuber, L.R.; Taggard, K.L.; Gibss, L.K.; MCCaslin, M.H.; Peterson, M.A.; Barnes, D.K. 1998. Fall dormancy.A-1 [en linea]. Standard Tests to Characterize Alfalfa Cultivars <https://www.naaic.org/stdtests/Dormancy2.html> .
- Vazquez, P. M.; Adema, E. O.; Llorens, E.; Butti, L. R.; Poey, M. S.; Stefanazzi, I. N., & Babinec, F. J. 2016. Modelado y predicción de la productividad neta de forraje en el árido-semiárido de la provincia de La Pampa. EEA Anguil.

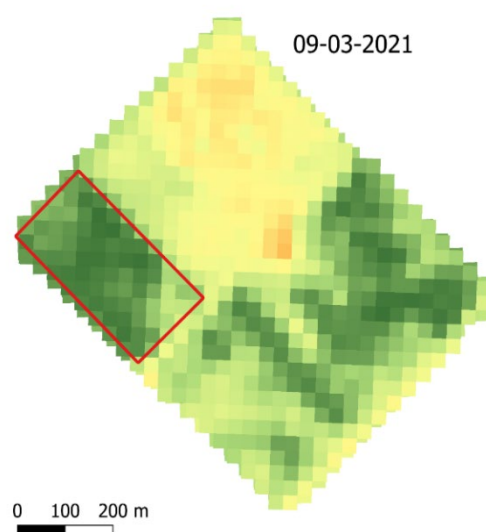
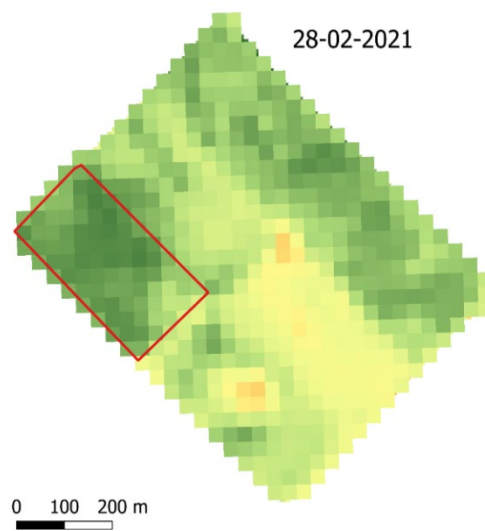
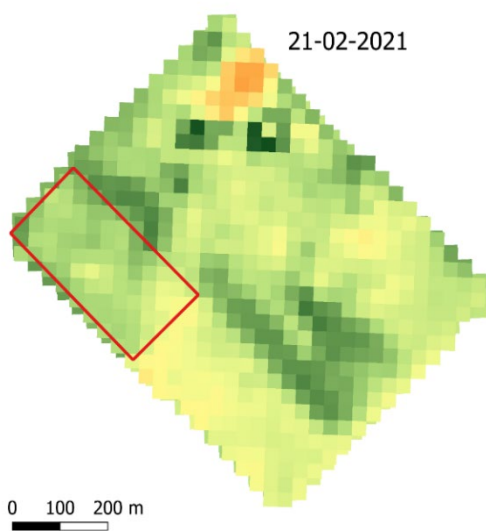
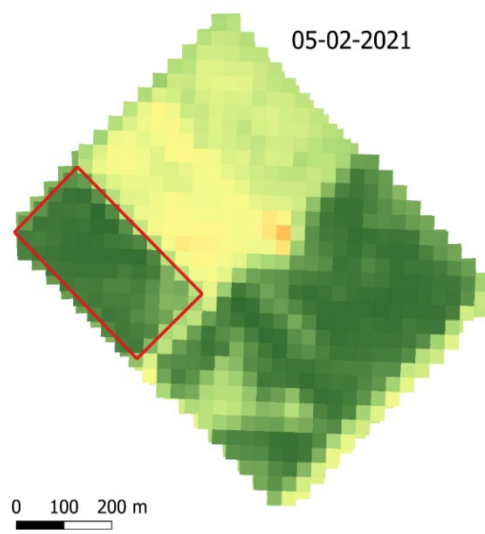
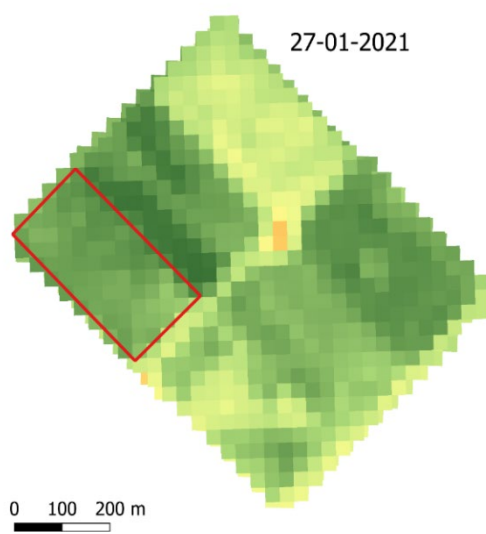
7. ANEXOS

7.1. **Anexo I.** Script de programación para seleccionar colección de imágenes y procesar y exportar una imagen satelital (Lenguaje Java Script).

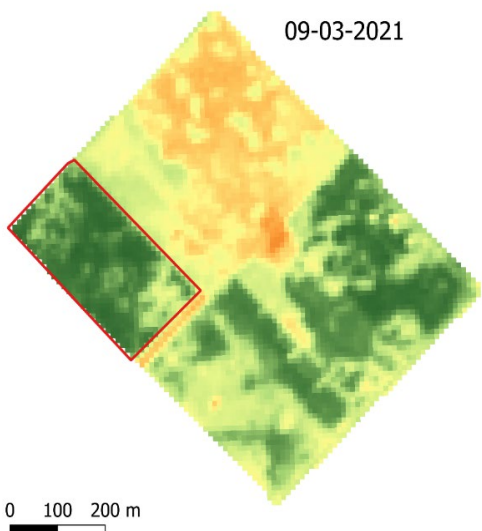
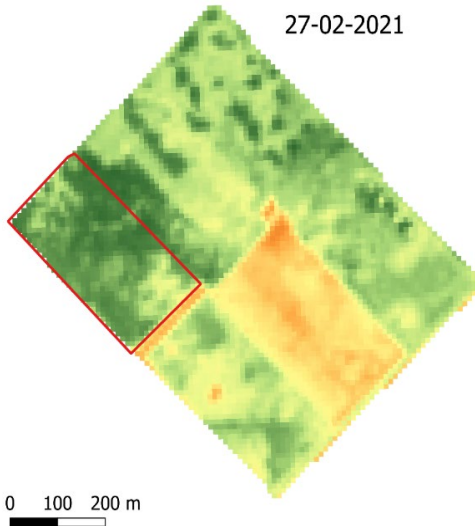
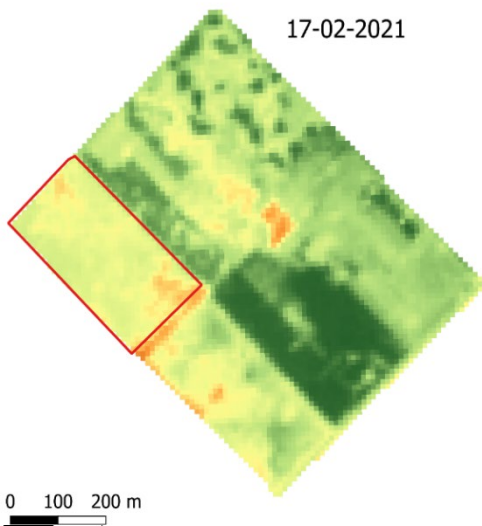
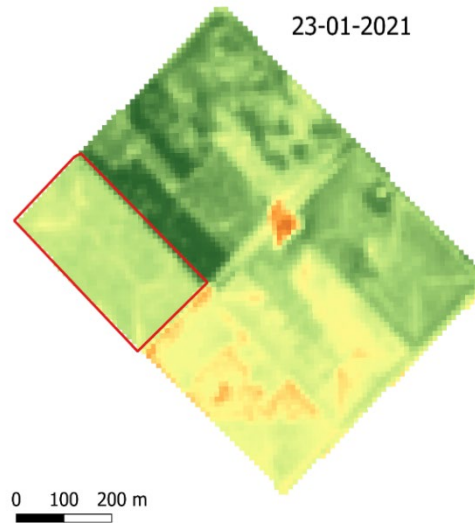
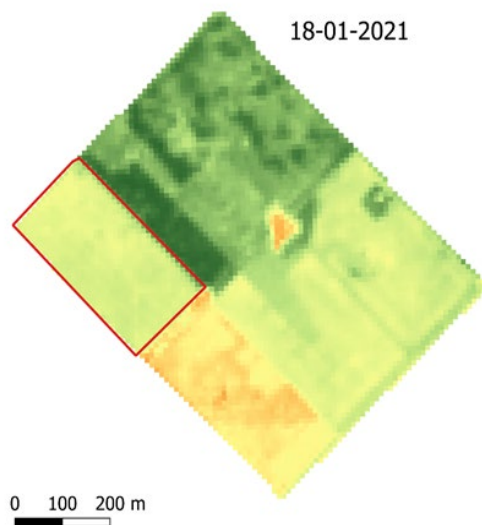
```
//buscar imagenes sentinel en determinada fecha, lugar, y
características//
var sentinel = ee.ImageCollection("COPERNICUS/S2_SR")
  .filterBounds(roi)
  .filterDate('2020-10-01', '2021-3-31')
  .filterMetadata('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 'less_than', 50)
print(sentinel)
//centrar al area de trabajo, con zoom 15
Map.centerObject(roi, 15)
//visualizar imagenes en color natural y ndvi//
//10 de octubre mrmie//
var                                imagen5                                =
ee.Image('COPERNICUS/S2_SR/20201010T135119_20201010T140118_T20HQE
')
  .clip(roi)
print(imagen5, '10 de octubre')
//Map.addLayer(imagen5,visualizacionimagen, '10 de octubre')
var ndvi5 = imagen5.normalizedDifference(['B8', 'B4'])
print(ndvi5, ' ndvi 10 de octubre')
Map.addLayer(ndvi5, visualizacionndvi, ' ndvi 10 de octubre' )
var reducers = ee.Reducer.mean().combine({
  reducer2: ee.Reducer.stdDev(),
  sharedInputs: true
});
var estadisticosndvi5 = ndvi5.reduceRegion({
  reducer: reducers,
  geometry: roi,
  scale: 10,
});
print (estadisticosndvi5, 'estadisticos 10 de octubre')
```

7.2. Anexo II. Mapas de índice de vegetación normalizado construídos con las imágenes del satélite Landsat 8 (el recuadro rojo indica la parcela de estudio).





7.3. Anexo III. Mapas de índice de vegetación normalizado construíos con las imágenes del satélite Sentinel 2 (el recuadro rojo indica la parcela de estudio).



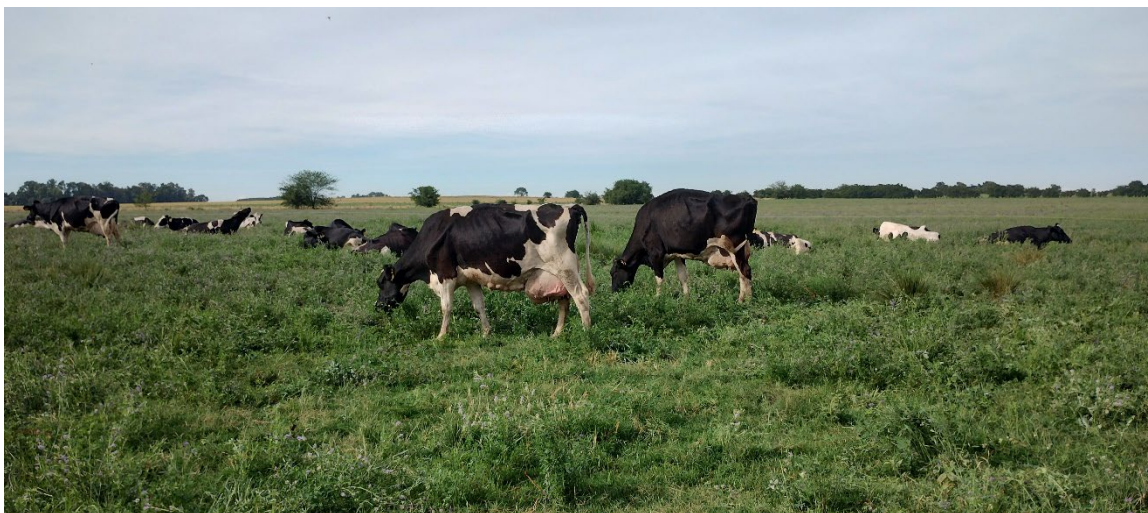
7.4. **Anexo IV.** Fotos de las pasturas recorridas.



Lote A, fecha de la visita 12 de enero de 2023.



Lote B, fecha de la visita 12 de enero de 2023.



Lote C, fecha de visita 12 de enero de 2023.



Lote D, fecha de visita 28 de febrero de 2023.



Lote E, fecha de visita 28 de febrero de 2023.



Lote F, fecha de visita 28 de febrero de 2023.



Lote G, fecha de visita 28 de febrero de 2023



Lote H, fecha de visita 12 de enero de 2023.



Lote I, fecha de visita 12 de enero de 2023.

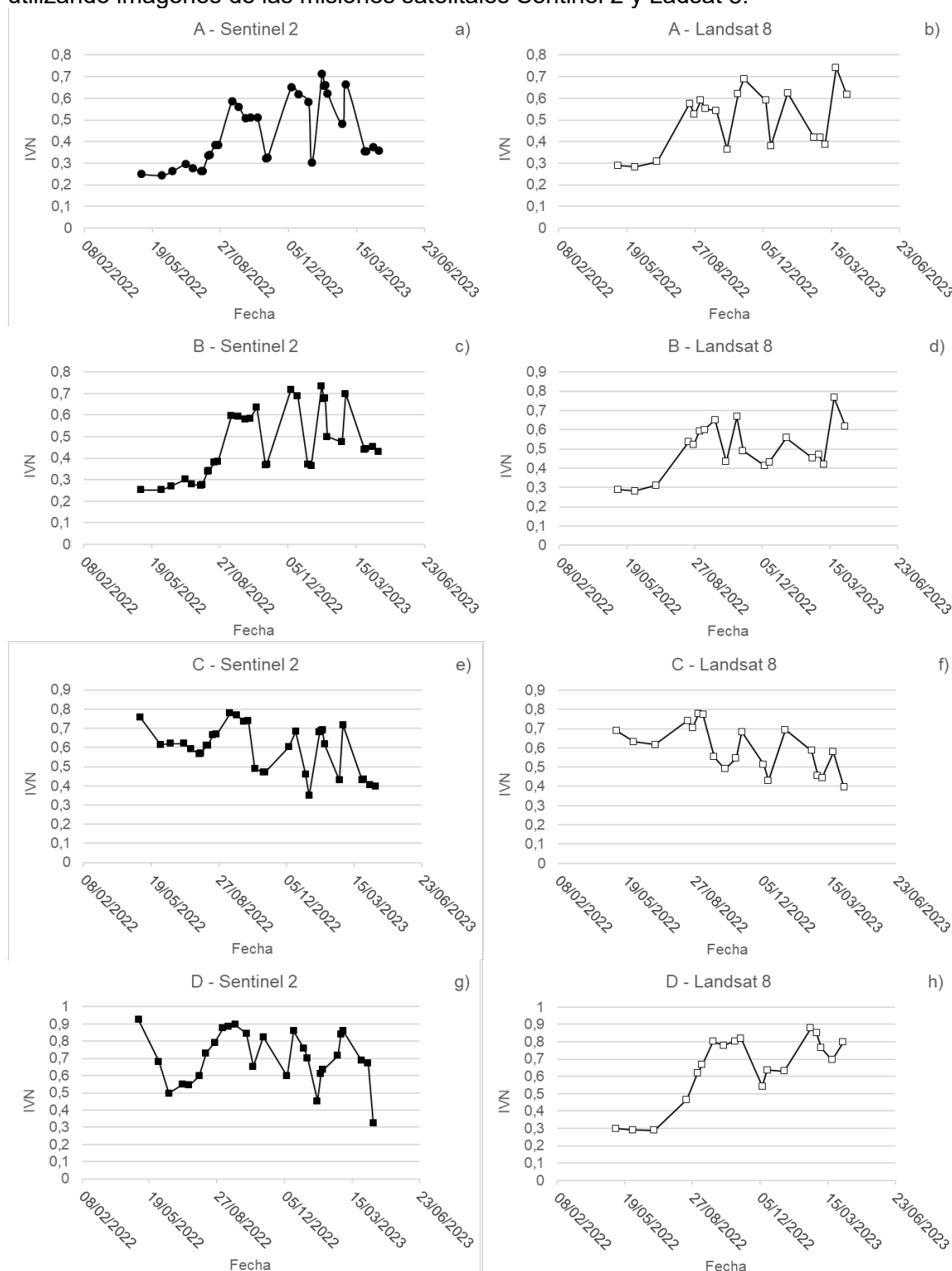


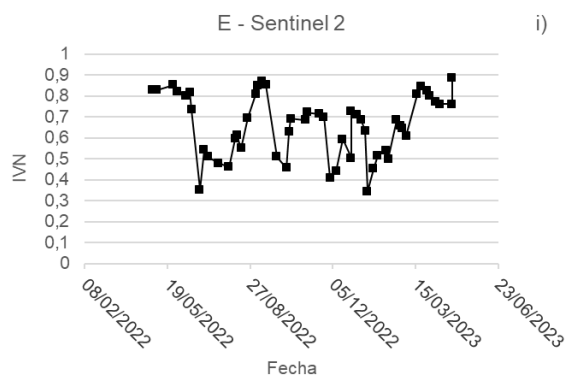
Lote J, fecha de visita 8 de febrero de 2023.



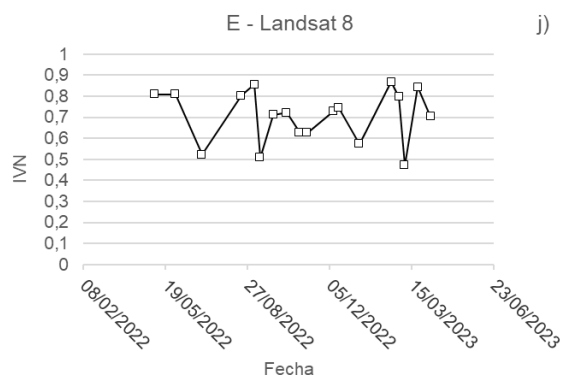
Lote K, fecha de visita 7 de febrero de 2023.

7.5. Anexo V. Evolución del IVN en las pasturas estudiadas (A, B, C, D, E, F, G, H, I, K) utilizando imágenes de las misiones satelitales Sentinel 2 y Landsat 8.

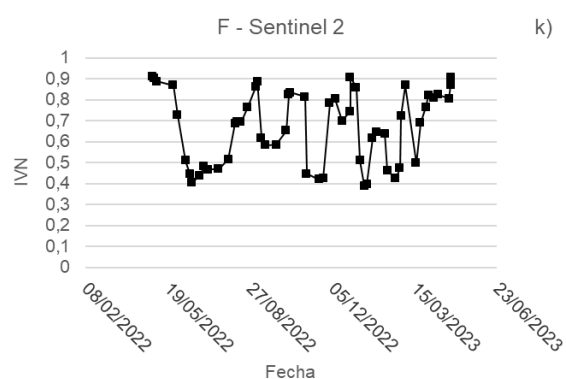




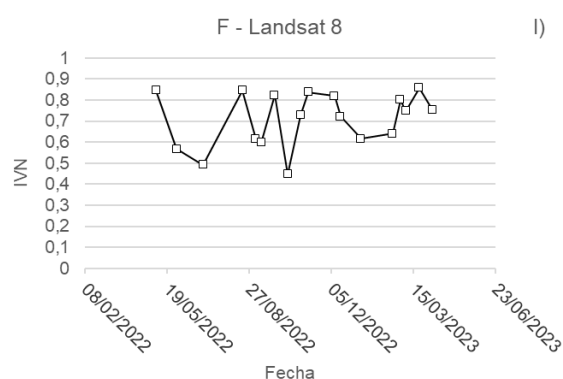
i)



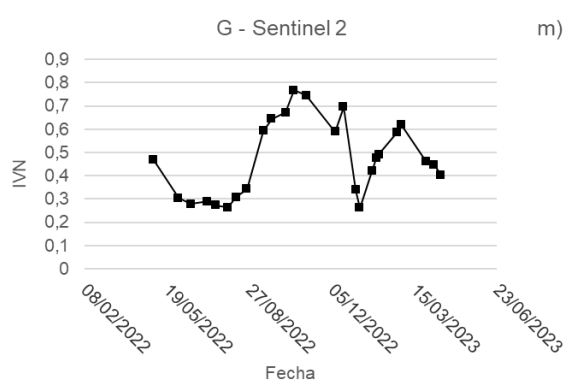
j)



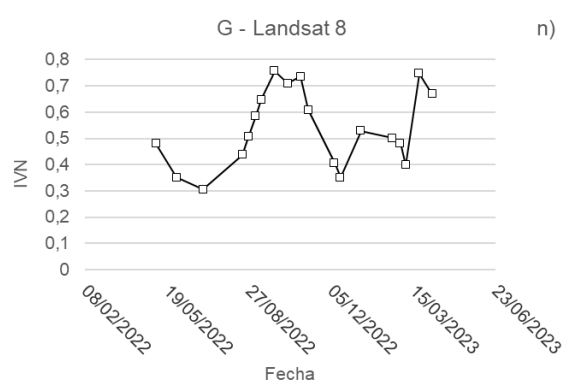
k)



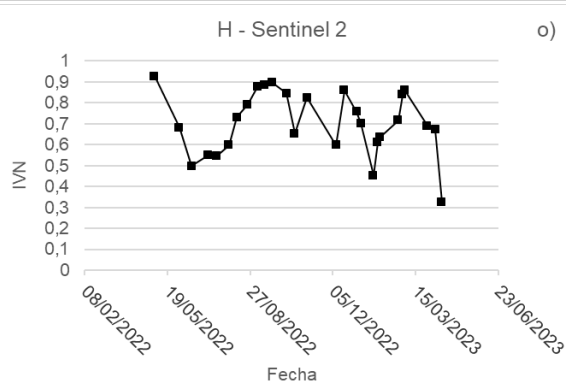
l)



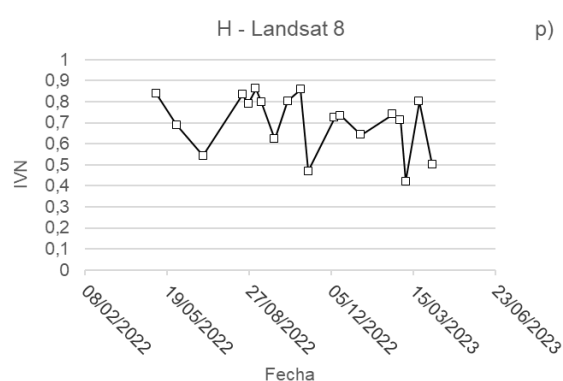
m)



n)



o)



p)

