

# SEGUIMIENTO FORRAJERO MEDIANTE SENSORES REMOTOS

Anomale, M. V.; Peñafort; Bocco, O.; Macor, L.; Bruno, M.; Bagnis, E. 2016.

\*Cátedra Producción Bovina de Carne II, FAYV, UNRC.

[www.produccion-animal.com.ar](http://www.produccion-animal.com.ar)

Volver a: [Índice verde; teledetección ambiental; sig; drones](#)

## IMPORTANCIA DE LA MEDICIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD FORRAJERA

En sistemas de base pastoril, la productividad forrajera representa el principal determinante de la **capacidad de carga** y **ganancia diaria de peso vivo**, parámetros que definen la producción de carne en este tipo de modelos de producción. La producción de carne para un determinado ambiente y momento depende no solo de la cantidad de forraje producido, sino también de la proporción de éste que se puede cosechar y de los requerimientos del animal considerado.

La eficiencia en producción en pastoreo está relacionada tanto a la producción como a la utilización del forraje. Poder conocer la disponibilidad de forraje lograda nos permite evaluar implementación de nuevas tecnologías como fertilización o nuevas variedades. Además, el poder contar con datos objetivos de disponibilidad de forraje, nos permite ajustar la carga por potrero para alcanzar el objetivo deseado, sea este mejorar el % de destete en un sistema de cría o aumentar la ganancia diaria en un sistema de invernada. El uso del forraje puede ser evaluado mediante la relación de producción de carne producida ya no por superficie, como comunmente se usa, sino por la asignación forrajera.

Conocer la disponibilidad de forraje y su variación estacional y entre años es fundamental para poder efectuar **decisiones de manejo**. A escala de paisaje, existe un limitado conocimiento sobre la variación espacial y temporal de la producción de forraje y por ende, la asignación y el nivel de riesgo por variabilidad en la producción primaria. El poder contar con datos de cortes de materia seca o raciones para cada ambiente y estación permite estimar la variación en la disponibilidad forrajera, permite planificar en función de esta variabilidad y disminuir riesgos de producción y por ende, riesgos económicos.

Contar con información de productividad forrajera resulta de vital importancia a la hora de **evaluar, planificar y tomar decisiones de manejo**.

*“Quien mide permanentemente, corrige permanentemente”.*

## ¿QUÉ ES EL ÍNDICE VERDE?

El índice de vegetación normalizado (IVN, también llamado índice verde) es una herramienta que permite la evaluación y seguimiento de la productividad forrajera mediante sensores remotos. Esta tecnología, permite estimar mensualmente la productividad forrajera a escala de lote. El sistema está basado en información satelital que permite estimar la proporción de radiación solar absorbida por el forraje para la fotosíntesis, la cual está íntimamente relacionada con la producción de forraje. La mayor parte de las variaciones temporales (estacionales, interanuales) y espaciales (entre y dentro de lotes) de la producción de forraje se explican por variaciones de la cantidad de radiación absorbida. **Cuando el IVN de un lote es alto (cercano a 1) indica que se está interceptando mucha radiación, y por lo tanto está produciendo más forraje.**

Estos datos de absorción de la radiación deben ser calibrados con datos de mediciones a campo para cada lote y especie vegetal implantada. Mientras mayor sea el número de registros, ya sea de mediciones de biomasa como información referente al uso y manejo de los lotes, mayor será la exactitud de las estimaciones.

La ventaja del IVN no radica en que, por su aparente sofisticación, sea más preciso que los tradicionales métodos de estimación por cortes. Simplemente, ofrece dos ventajas fundamentales:

- 1) no requiere muestrear ni extrapolar los resultados, ya que abarca toda la superficie, y permite repetir las estimaciones en el tiempo sin mucho trabajo adicional.
- 2) debido a que existe un banco de datos desde que los satélites comenzaron a funcionar, esta herramienta permite estimar la producción forrajera de tiempos pasados. El conocimiento de la producción en el pasado es útil para cuantificar y entender mejor el funcionamiento de los sistemas forrajeros y su respuesta a eventos climáticos, como las sequías.

## ¿CÓMO FUNCIONA?

El sistema se basa en la estimación de la productividad forrajera (**PF**) en un período de tiempo (un mes, por ejemplo). La PF está determinada por la cantidad de radiación fotosintéticamente activa absorbida (**RFAa**) por las plantas y la eficiencia con que esa energía es transformada en materia seca aérea o Eficiencia en el Uso de la Radiación (**EUR**). A su vez, la RFAa es el producto entre la radiación fotosintéticamente activa incidente (**RFAi**), medida en estación meteorológica, y la fracción de la misma que es absorbida por las hojas verdes (**fRFA**), que depende de la cantidad y disposición espacial del área foliar. La fRFA puede ser estimada con razonable precisión a partir de la teledetección y esa relación es el vínculo entre la productividad forrajera y los sensores remotos.

$$PF(\text{kg/ha/mes}) = RFAa (\text{MJ/ha/mes}) \times EUR (\text{kg MS/MJ})$$

$$RFAa(\text{MJ/ha/mes}) = RFAi (\text{MJ/ha/mes}) \times fRFA$$

La EUR puede ser estimada a partir de cortes de materia seca o ser tomada de estimaciones de la literatura o a partir de modelos con base en variables ambientales. La EUR es mucho menos variable que la RFAa para un recurso forrajero determinado y, ante la falta de conocimiento más detallado, puede suponerse constante en el modelo para calcular la productividad forrajera de ese recurso en ese ambiente. Sin embargo, se espera en el futuro contar con modelos que incluyan variaciones estacionales y debidas a variables ambientales.

El IVN está directamente relacionado con la fRFA porque se basa en las propiedades de la biomasa vegetal verde de absorber intensamente la radiación visible (especialmente en la longitud de onda del rojo), utilizada para la fotosíntesis, y de reflejar la mayor parte de la radiación en la zona del infrarrojo cercano (ver Ilustración 1).

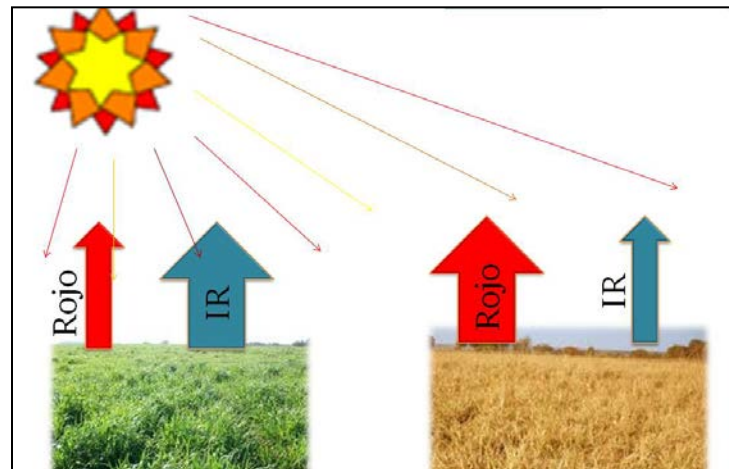


Ilustración 1. Proporción de la radiación incidente que es reflejada.

Nota: IR: Infrarrojo cercano

El IVN se calcula según:

$$IVN = (\rho_{ir} - \rho_r) / (\rho_r + \rho_{ir})$$

,donde  $\rho_r$  y  $\rho_{ir}$  son las reflectancias (proporción de la radiación incidente que es reflejada) de la superficie en la longitud del rojo y el infrarrojo cercano, respectivamente.

Para estimar la productividad forrajera diaria de una superficie en un mes dado, primero se calcula la radiación absorbida diaria por píxel (mínima unidad espacial de la imagen satelital), luego la productividad diaria por píxel, y por último el promedio mensual de ambas variables.

## CALIBRACIÓN

Para determinar la EUR para cada recurso forrajero se puede recurrir a datos de bibliografía o, idealmente determinar la misma mediante cortes de materia seca en el sitio de interés. Para el primer caso, se recurre a datos publicados pertenecientes a sitios con condiciones ambientales similares para un determinado recurso forrajero o en su defecto, del mismo grupo funcional (por ej: C3 o C4). Para el segundo caso, se sugiere la medición de tasa de crecimiento a partir de cortes utilizando jaulas de exclusión, pero la metodología puede variar para cada situación particular.

### Cortes de forraje útiles para calibrar con datos de satélites

Los cortes repetidos en el tiempo permiten estimar la productividad o tasa de crecimiento del forraje (TC). La misma se calcula como la diferencia en peso de la materia seca ( $\Delta x$ ) cosechada en cortes consecutivos dividida por los días transcurridos ( $\Delta t$ ).

$$TC [kgMS/ha/día] = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

No todos los datos de cortes son útiles para realizar calibraciones con datos satelitales. Para evitar esto es necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- 1) que los cortes deben provenir de un lote que tenga una superficie y forma tal que permita que al menos un píxel de 5.3has quede completamente incluido en él,
- 2) que el píxel seleccionado para la calibración represente al lote y que los cortes realizados sean representativos de ese píxel
- 3) que la estructura, básicamente la altura, de la superficie donde se corta no sea muy distinta al resto del píxel seleccionado para realizar los cortes, que es lo que el satélite está “mirando”. En otras palabras, no tendría sentido tratar de relacionar la RFAa por el recurso forrajero de y la

productividad en las jaulas, si dentro de éstas la altura promedio fue, por ej., de 20 cm y en el resto del lote las condiciones de manejo mantuvieron la altura a 5 cm.

4) la heterogeneidad del recurso. Si éste es muy heterogéneo (por ejemplo un lote con matas de pasto muy grandes, y una “intermata” de pastos bajos) sería importante aumentar la cantidad de muestras dentro del “pixel”, y tratar de incluir esa heterogeneidad.

A modo de ejemplo, a continuación se describe algunas alternativas para cumplir con los requisitos mencionados en recursos forrajeros manejados de distinta manera, considerando siempre el compromiso entre obtener datos útiles y complicar lo menos posible la logística del plan de cortes.

### Protocolo para realizar cortes de forraje

La situación ideal sería disponer de una gran cantidad de cortes a lo largo del tiempo para cada recurso forrajero. Como esta situación está lejos de lo posible, es preferible concentrar esfuerzos en cortar la mayor cantidad de fechas de un recurso forrajero en un sitio particular (el más importante y representativo de la zona o campo), y resignar cantidad de sitios y recursos forrajeros. Es decir, **es preferible cortar en menos lugares pero en más fechas.**

Debido a la variabilidad del contenido de humedad del forraje entre recursos y épocas del año es necesario **secar las muestras** en estufa, horno, o microondas. Una alternativa es enviarlas a un laboratorio cercano. Esto es crucial para la confianza con la que podremos usar los datos generados.

### Selección de píxeles

La selección de “píxeles puros” es el primer paso para llevar a cabo la calibración. Para ello, se superponen los píxeles de la imagen satelital sobre el plano del lote que se indique y se selecciona aquellos que no presenten elementos que puedan disturbar la imagen, como caminos, alambrados, árboles, etc. (superficie de un pixel 5,3 ha). Así se selecciona los mejores lugares y más representativos del lote para realizar los cortes. Para decidir si un lote cumple con el requisito de tamaño y forma descrito anteriormente, y definir el sitio del lote donde cortar, es conveniente un intercambio entre quienes realizarán los cortes y personal del laboratorio que esté llevando a cabo la calibración.

### Corte de materia seca

Una vez elegido el sitio, el segundo paso es medir la tasa de crecimiento de un determinado recurso forrajero a lo largo del año. La metodología a implementar variará de acuerdo al sistema de pastoreo. Planteamos a continuación situaciones óptimas para tener como referencia:

## Sistemas de pastoreo continuos

Para la situación de pastoreo continuo, es necesario el uso de jaulas para evitar que los animales consuman el crecimiento de forraje que se quiere medir. El objetivo es simular dentro de cada jaula (sin pastoreo) una situación lo más parecida posible a la que el recurso está experimentando fuera de la jaula (pastoreado).

Las jaulas deben ser ubicadas en sitios que sean representativos del pixel seleccionado y el pixel ser representativo del lote. Una manera de lograr que el área bajo la jaula esté representando una situación parecida a la que “mira” el satélite es **cambiar de lugar las jaulas**. En este caso, para medir el TC es necesario medir la disponibilidad al inicio del período, fuera de la jaula, y medir la disponibilidad al final del período (por ej. 30 días después), en un área no cosechada al inicio y que estuvo “protegida” por la jaula. La diferencia entre ambas disponibilidades dividida por los días permitirá calcular la TC. Los cortes se realizan siempre **al ras**. No se recomienda cortes a ras de un área y luego el corte a ras del mismo lugar para medir lo rebrotado porque esta situación nunca ocurriría en el resto del píxel (o área que “mira” el satélite).

Otra forma de medir TC es **cortar rebrote sin mover la jaula**. Esta metodología es más simple, pero menos representativa del lote. Se corta el pasto dentro de la jaula, al inicio del periodo de rebrote, a una altura algo menor a la que el recurso permanecerá en el resto del lote. Luego, se realiza el siguiente corte hasta esa misma altura inicial una vez que la altura dentro de las jaulas sea levemente superior a la altura en el resto del lote, con lo cual se obtendrá el forraje producido en el intervalo entre cortes. De este modo la altura promedio durante el rebrote habrá sido similar dentro y fuera de las jaulas. Se repite la operación en los siguientes cortes.

En situaciones con mucha heterogeneidad (potreros muy “overos”), se sugieren las siguientes alternativas complementarias (no excluyentes):

- aumentar el tamaño de las jaulas de manera de cubrir mejor esa heterogeneidad,
- aumentar la cantidad de jaulas.
- pasar una desmalezadora por el “pixel” seleccionado para la realización de los cortes, al inicio del trabajo de cortes, antes de poner la jaula.
- Modificar el sistema de pastoreo continuo por uno rotativo (al menos en el /los pixeles seleccionados), si fuera posible subdividir.

## Sistemas de pastoreo rotativo extensivos (parcelas de gran superficie)

Considerando el requisito de semejanza entre la estructura de la pastura analizada con la que “mira” el satélite, la situación más deseable sería no tener necesidad de usar jaulas, es decir que se pudiera cortar cuando los animales acaban de salir y volver a cortar antes de que los animales vuelvan a entrar (el intervalo entre cortes máximo queda definido entonces por los días que dura el periodo de descanso). De esta forma

estaríamos estimando la tasa de crecimiento que el recurso experimenta en la situación real de manejo que se esté desarrollando, que es en definitiva lo que está “viendo” el satélite.

En este caso el desafío es estar en **contacto directo con el encargado** de manejar el pastoreo para que los animales no ingresen nuevamente a la parcela antes que se realice el segundo corte, lo cual haría perder el dato de productividad, ya que los animales consumirían parte del forraje producido. Cuando los animales salgan nuevamente se repite el esquema. Si la parcela es todo el lote, no será posible contar con datos continuos en el tiempo, sino que habrá interrupciones durante el periodo que los animales permanezcan en el lote y se evaluará la productividad durante los momentos de descanso. Eventualmente pueden considerarse dos o tres lotes del mismo recurso e ir cortando en uno u otro según la ubicación de los animales.

La ventaja de este método es que no es necesario incurrir en gastos para compra de jaulas, pero, por otro lado, se requiere de muy buena coordinación con el encargado para realizar los cortes en el momento determinado sin interrumpir con el manejo diario de los animales (complicado en la práctica).

Esta metodología podrá aplicarse siempre y cuando las parcelas en pastoreo sean de una superficie tal que permita la selección de pixeles puros (5,3ha).

### Sistematización de los datos de cortes de forraje ya realizados

Para la calibración, también puede usarse, datos de corte realizados con anterioridad, siempre y cuando se cuente con la información de

- lugar de los cortes: coordenadas
- tipo de recurso
- fechas en que se realizaron los cortes
- valores de Materia Seca (MS) cosechada

Cuanto mayor sea el detalle de la información suministrada, mayor será la seguridad con la que se pueda generar las calibraciones. En el Anexo I se muestra una planilla tipo con los datos necesarios a informar para la calibración.

## ¿PARA QUÉ SIRVE?

Conocer la cantidad de forraje con el que se dispone para alimentar a los rodeos es un aspecto de suma importancia para aprovechar de forma eficiente los recursos, permitiendo la planificación y el diseño de estrategias para la gestión de los sistemas ganaderos. Esto permite:

1) **Evaluar**

- Analizar las campañas ganaderas
- Evaluación del impacto de variables ambientales y de manejo sobre la productividad.

A modo de ejemplo de un **análisis de campaña ganadera**. En el Gráfico 1 vemos la producción de forraje por hectárea en una campaña determinada para 16 establecimientos. Esto permite comparar la eficiencia de producción de alimento en función del recurso suelo, considerando que todos los establecimientos se ubican en ambientes de potencial similar. En el Gráfico 2 se observa la producción de carne en función de la disponibilidad de forraje para estos mismos establecimientos. Si tomamos los casos de *El Lucero* y *Grandes Chicos*, vemos que ambos tuvieron una producción de forraje muy similar, pero al evaluar la eficiencia con que se usó, *El Lucero* produce 55 kg de carne por tonelada de forraje disponible, y *Grandes Chicos* 22 kg/Tn, prácticamente la mitad. Esto permite detectar casos destacados y evaluar las brechas de mejora. Además permite comparar estrategias de manejo que resultaron exitosas y objetivar los resultados.

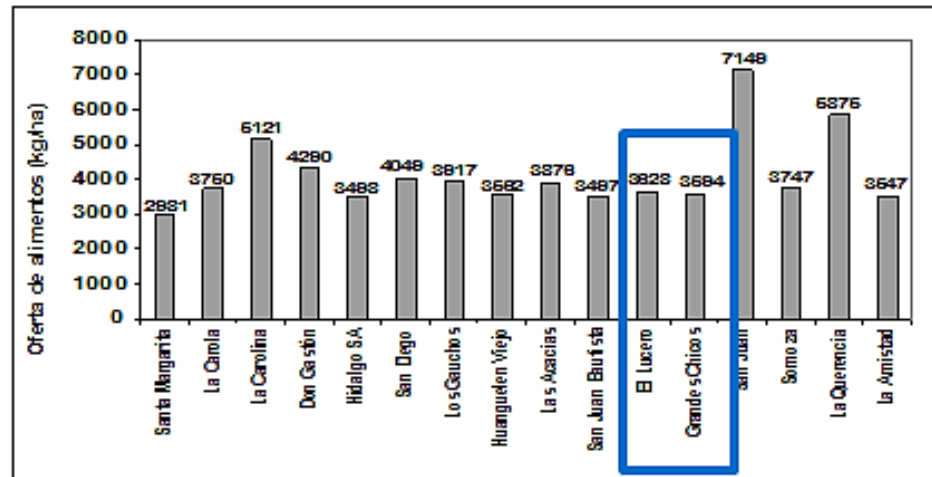


Gráfico 1. Oferta forrajera de establecimientos del CREA La Madrid durante la campaña 2003/04

Fuente: Oosterheld et al., 2006.



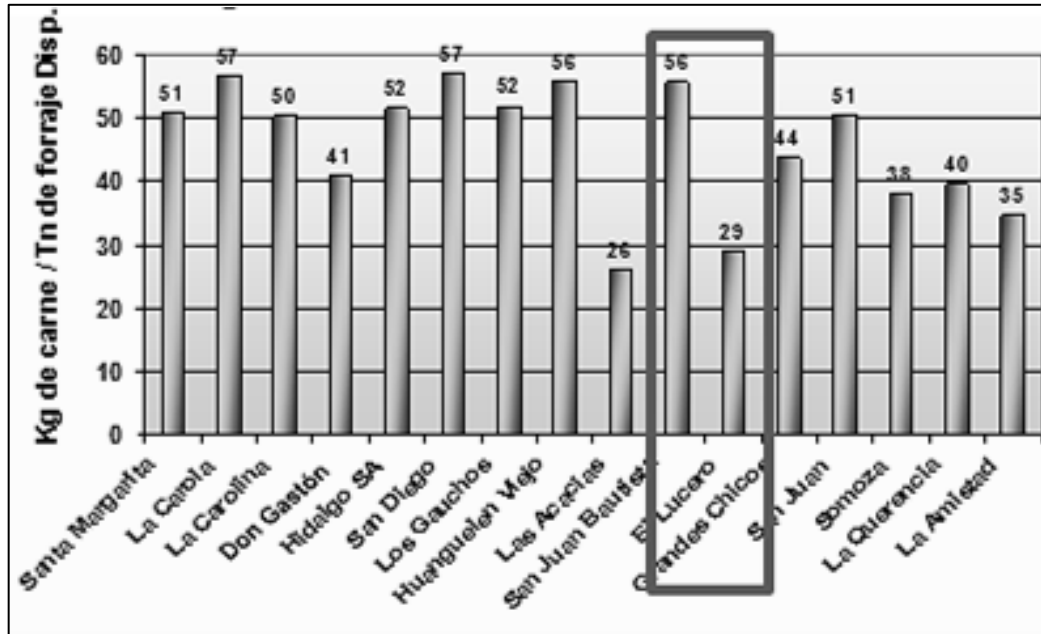


Gráfico 2. Eficiencia de conversión del forraje en carne de establecimientos del CREA La Madrid durante la campaña 2003/04.

Fuente: Oosterheld et al., 2006.

## 2) Tomar decisiones de manejo

- Determinar carga
- Definir el tiempo de pastoreo

A continuación se muestran un ejemplo de **cálculo de carga** para un potrero de 80ha tomando como base la información de productividad forrajera registrada por índice verde. Para realizar el cálculo, es necesario determinar la oferta forrajera y la demanda por animal (ver cálculos a continuación). Según los datos históricos de productividad y cómo se espera que sea el año (bueno, normal o malo) se considera que la productividad para los meses de agosto, septiembre y octubre (A-S-O) será de 0, 5 y 22 kg MS/ha/día, respectivamente. Entonces, considerando los días de cada mes, la producción total acumulada para este trimestre será de 552 kg MS total/ha. Mediante corte de materia seca o estimación a partir de datos de productividad de los meses precedentes, puedo conocer el stock de forraje al inicio, para este caso, 1500 kg MS/ha. Asignando una eficiencia de cosecha del 50%, la oferta forrajera total es de 1026 kg MS/ha.

Si la demanda trimestral para una vaca es de 1104 kgMS (12 kgMS/cab/día), la carga para este potrero en el trimestre debería ser de 0,93 cab/ha. Es decir, 74 animales para un lote que tiene 80 ha.

<b>Oferta</b>	
Stock inicial disponible (Kg MS/ha)	1500
TC [A-S-O] (Kg MS/ha)	$(31 \times 0) + (30 \times 5) + (31 \times 12) = 552$
<b>Total</b> (Kg MS/ha)	<b>2.052</b>
Ef. cosecha	50%
<b>Pasto ofrecido</b> (Kg MS/ha)	<b>1026</b>

<b>Demanda</b>	
<b>Consumo trimestral</b> (Kg MS/vc)	$(31 \times 12) + (30 \times 12) + (31 \times 12) = 1.104$
<b>Balance</b>	
<b>Vacas por ha</b>	$1.026 \text{ [kgMS/ha]} / 1.104 \text{ [kgMS/vc]} = 0,93$
<b>Total de vacas (80ha)</b>	$0.93 \times 80 = 74$

### 3) Planificar

- Tipo y cantidad de reserva forrajera
- Balance y presupuesto forrajero
- Nivel necesario de suplementación

La **planificación forrajera** es fundamental a la hora de disminución riesgos productivos. Conociendo la productividad forrajera de los distintos recursos con que se cuenta en un establecimiento (cadena forrajera), podemos calcular los baches de oferta y planificar diferimientos o suplementación.

A continuación se muestra datos de un establecimiento real (Oesterheld *et al.*, 2006),

Donde se analiza el balance forrajero, estimando con mayor precisión que lo habitual la magnitud y el momento de los déficits y excesos que siempre se producen en los sistemas pastoriles. Se observa el detalle de la producción estacional de cada recurso forrajero en un campo determinado (Gráfico 3) y se compara con la demanda de forraje suponiendo distintos escenarios de consumo por parte del ganado (Gráfico 4).

Considerando además que se cuenta con varios años de información de este tipo, se puede programar las campañas futuras conociendo el nivel de riesgo con que se están trabajando y diseñando estrategias de suplementación sistemática y de emergencia.

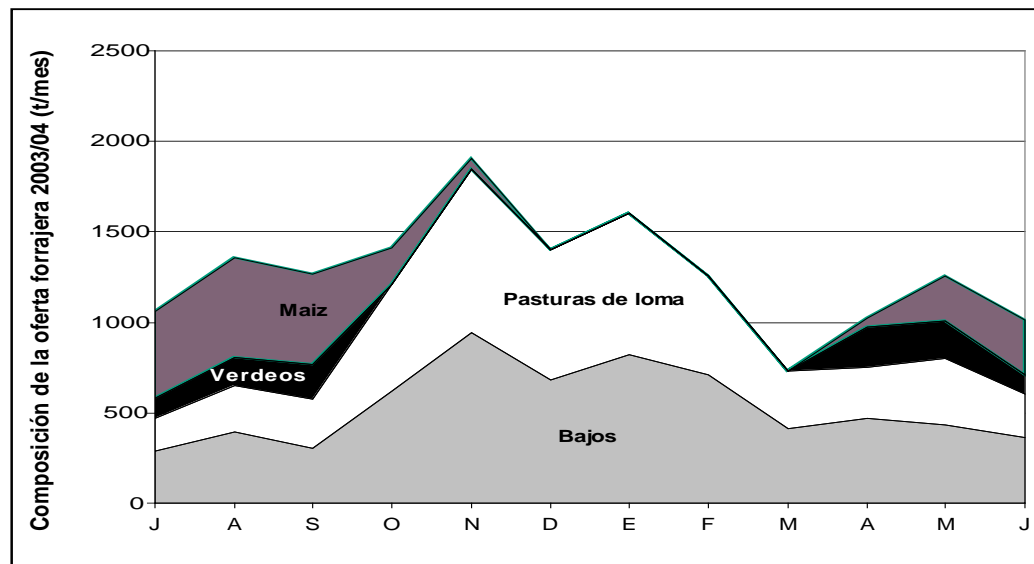


Gráfico 3. Oferta mensual de distintos recursos forrajeros durante 2003/04 en un establecimiento del CREA La Madrid.

Fuente: Oesterheld et al., 2006.

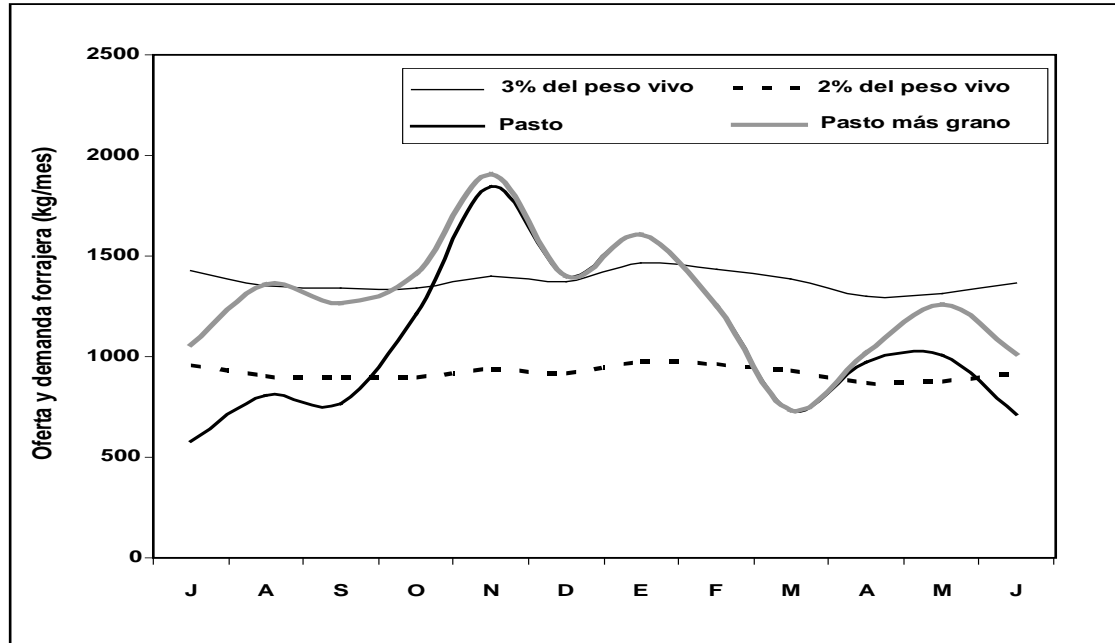


Gráfico 4. Comparación de la oferta anterior (con grano de maíz y sin él) en dos escenarios de consumo: 2 y 3% del peso vivo.  
Fuente: Oosterheld et al., 2006.

**La estimación de la disponibilidad de pasto o biomasa es el punto de partida de toda una serie de relaciones vinculadas con decisiones de manejo del sistema productivo.**

Esta herramienta también es utilizada a **nivel regional y nacional** para evaluar y como apoyo a la toma de decisiones. Por ejemplo: asignación de subsidios por sequía, declaración de emergencia hídrica, estimación del potencial productivo de una región en base a la productividad forrajera promedio y su variabilidad.

## LIMITANTES

Las dificultades de la herramienta para estimar la productividad forrajera son básicamente dos:

- 1) La primera dificultad es que cada píxel integra la fRFA del área que cubre y por lo tanto no se puede diferenciar lo que sucede dentro de un píxel. Esto puede ser un inconveniente, por ejemplo, cuando se intenta conocer la PF de pequeñas unidades de manejo, como sería el caso de parcelas de tambo donde muy difícilmente un píxel coincidirá enteramente con una unidad de manejo tan pequeña. En definitiva, las estimaciones de PF mediante esta aproximación estarán siempre limitadas por la resolución del sensor usado para estimar la fRFA.
- 2) La segunda es la dificultad que presenta el uso de esta herramienta en ambientes de monte. No se ha encontrado hasta el momento la forma de eliminar el efecto del árbol en las estimaciones de productividad de pastizales. Una alternativa es estimar la productividad en áreas de pastizales sin árboles y asignar una productividad forrajera proporcional (según la experiencia) bajo los árboles (Por. Ej: suponer que cuando en pastizal sin árboles la TC es de 50 kgMS/ha/día, bajo los árboles será de 35kgMS/ha/día)

## BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA

- Grigera, G., Oesterheld, M., & Pacín, F. (2007). Monitoring forage production for farmers' decision making. *Agricultural Systems*, 94(3), 637-648. <http://doi.org/10.1016/j.agsy.2007.01.001>
- LART | Laboratorio de Análisis Regional y Teledetección. (2015). Recuperado 28 de diciembre de 2015, a partir de <http://lart.agro.uba.ar/>
- Oesterheld, M., Paruelo, J. M., & Oyarzabal, M. (2010). Estimación de la productividad primaria neta aérea a partir de diferencias de biomasa y de integración de la radiación absorbida. En *Bases ecológicas y tecnológicas para el manejo de pastizales*. Montevideo, Uruguay: INIA.
- Grigera, G., M. Oesterheld, M. Durante, and F. Pacín. 2007a. Evaluación y seguimiento de la productividad forrajera. *Revista Argentina de Producción Animal* 27 :137-148.
- Grigera, G., M. Oesterheld, and F. Pacín. 2007b. Monitoring forage production with MODIS data for farmers' decision making. *Agricultural Systems* 94 :637-648.
- Oesterheld, M., Grigera, G., Pacín, F. 2006. Sistema de estimación y seguimiento de la productividad forrajera en tiempo real. LART, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.
- Sistema Nacional de Diagnóstico, Planificación, Seguimiento y Prospección Forrajera en Sistemas ganaderos. (2015). Recuperado 28 de diciembre de 2015, a partir de <http://produccionforrajes.org.ar/>

**ANEXO I**

Ejemplo de planilla con datos de cortes de materia seca para la calibración

Fuente	Estancia, Establecimiento	Lote	Latitud	Longitud	Fecha del corte t0	Fecha del corte t1	Días	Kg MS/Ha	Tasa de Crecimiento (KgMS/ha.día)	Tratamiento/ Condición	Descripción	Recurso	Metodología p/ estimación de biomasa aérea	N° de Jaula

Volver a: [Índice verde; teledetección ambiental; sig; drones](#)