

ESTIMACIÓN DE BIOMASA AÉREA EN PASTURAS TEMPLADAS DE SISTEMAS LECHEROS PASTORILES

*Trabajo Final presentado para acceder al título de Especialista en Producción Lechera
en Sistemas Argentinos de la Universidad de Buenos Aires,
Área Producción Animal*

Luis O. Millapán

Ingeniero Agrónomo- Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires - 2006

Lugar de trabajo: Cátedra de Producción Lechera, FAUBA



Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano
Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires

COMITÉ CONSEJERO

Director de tesis

José Luis Rossi

Ingeniero Agrónomo (Universidad de Buenos Aires, Argentina)
Ph. D. en Ciencia Animal (Universidad de Massey, Nueva Zelanda)

Co-director de tesis

Pablo Ariel Cipriotti

Ingeniero Agrónomo (Universidad de Buenos Aires, Argentina)
Dr. en Ciencias Agropecuarias (Universidad de Buenos Aires, Argentina)

JURADO DE TESIS

Director de tesis

José Luis Rossi

Ingeniero Agrónomo (Universidad de Buenos Aires, Argentina)
Ph. D. en Ciencia Animal (Universidad de Massey, Nueva Zelanda)

JURADO

Alejandra Ayala Torales

Ingeniera Agrónoma (Universidad Nacional del Sur, Argentina)
M. Sc. en Producción Vegetal (Universidad de Buenos Aires, Argentina)

JURADO

Graciela Liliana Violeta Acosta

Ingeniera Agrónoma (Universidad de Buenos Aires, Argentina)
M. Sc. en Producción Animal (Universidad Nacional del Mar del Plata, Argentina)

“Sin duda la actividad agropecuaria de las próximas décadas demandará personas capacitadas en profesiones y oficios diversos, muchos de ellos nuevos, y una estructura educativa capaz de darles esa capacitación en muchos puntos del país. Simultáneamente un valioso capital humano que existe hoy se erosiona cuando las veloces transformaciones agrícolas desplazan rubros y segmentos enteros de la producción (por ejemplo, la actividad tambera). Sumado a lo anterior, en algunas regiones la expansión agropecuaria no planificada pone en peligro la integridad cultural y subsistencia de pueblos originarios y otros sectores desprotegidos del medio rural.”

Expansión de la frontera agropecuaria en Argentina
y su impacto ecológico-ambiental
Ernesto F. Viglizzo y Esteban Jobbágy
INTA, 2011

A Vicky y Facundo,
habitantes de mi pequeño mundo.

A mis padres,
quienes me brindaron educación.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría agradecer a José Luis Rossi por el apoyo brindado a través de todos estos años, y por darme la oportunidad de realizar este trabajo. Fue muy valioso poder compartir con él los viajes a campo y trabajar en conjunto a lo largo de todo el proceso de realización de esta tesis. En segundo lugar, quisiera agradecer a Pablo Cipriotti por la gran ayuda que significó su participación para este trabajo, por su valiosa orientación brindada en los análisis estadísticos, y por el análisis crítico de los resultados. Él me guió por los “oscuros caminos” de la estadística y mis primeros pasos en R. También quisiera agradecer al personal del Establecimiento “La Fermina”, y especialmente a Vicente Casares, Juan Carlos Guevara, Marcelo Dankert y Lucas Barton. Sin el apoyo de todos ellos este trabajo no hubiera sido posible.

Un agradecimiento especial va dirigido a mis compañeros de la Especialización (cohorte 2008), con los cuales compartí muchas horas de clases, muchas charlas sobre lechería, muchas anécdotas y también muchos mates y risas. Mis agradecimientos también para los directivos de la Especialización, para todo el grupo de docentes que participan de la misma, y para las autoridades y personal de la Escuela Para Graduados.

Adicionalmente quisiera agradecer a los integrantes de la cátedra de Producción Lechera. Todos ellos contribuyeron de un modo u otro a que cada día pudiera aprender un poco más sobre el apasionante mundo de la lechería. Me gustaría destacar especialmente a mis compañeros de oficina Cintia, Cecilia y Pablo: ¡Muchas gracias por los buenos consejos y el aliento constante! También quisiera agradecerle muy especialmente a Nico Lyons por la lectura crítica, los comentarios y las sugerencias realizadas desde Australia (y desde el aeropuerto de Santiago de Chile).

Los tesisistas de la cátedra y estudiantes que colaboraron merecen también mi agradecimiento: Martín Kerekes, Lisandro Alé, Esteban Bianchi, Juan María Echarri, Sebastián Giedzinski, Ignacio Aguiló, Santiago Bustos Picot, Luis Selligman, Nicolás Delgado y Alfredo García. Con todos ellos compartimos los viajes a “La Fermina”, muchas charlas y muchas horas de laboratorio. ¡Gracias muchachos!

Hubo varias personas que contribuyeron con este trabajo en momentos puntuales y a las que también quiero agradecerles. Alejandra Ayala Torales y Graciela Acosta me acompañaron en los primeros viajes a Suipacha. Por otro lado, Mario Suárez y Luis Salgado estuvieron siempre presentes en el Laboratorio de Semillas. Graciela Galvani, del INTA Clima y Agua contribuyó generosamente con la información climática. Laura Puhl, Mariano Oyarzabal y Roxana Aragón aportaron las ideas iniciales sobre cómo realizar el análisis estadístico de este trabajo.

Quisiera agradecer a dos personas muy especiales: a Victoria Piazza por el entusiasmo constante, la paciencia, el apoyo incondicional, y por su estímulo y comentarios para el desarrollo de este trabajo; y a Damián Vega por los consejos y sus valiosas ideas.

Finalmente, quisiera agradecer a la UBA, por ser una universidad pública y de calidad, y por brindarme la posibilidad de formarme y crecer profesionalmente. Es mi deseo que esa formación contribuya a construir cada día una sociedad mejor y más justa.

DECLARACIÓN

Declaro que el material incluido en esta tesis es, a mi mejor saber y entender, original producto de mi propio trabajo (salvo en la medida en que se identifique explícitamente las contribuciones de otros), y que este material no lo he presentado, en forma parcial o total, como una tesis en ésta u otra institución.

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN	v
ÍNDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ABREVIATURAS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
BIBLIOGRAFÍA	3
Capítulo 1: MÉTODOS DISPONIBLES PARA ESTIMAR BIOMASA AÉREA	
1.1. MÉTODOS DIRECTOS E INDIRECTOS	4
1.2. OTROS MÉTODOS DE ESTIMACIÓN	9
1.3. COMPARACIÓN ENTRE MÉTODOS	11
1.4. BIBLIOGRAFÍA	13
Capítulo 2: GENERACIÓN DE ECUACIONES DE CALIBRACIÓN DE BIOMASA AÉREA UTILIZANDO MÉTODOS DIRECTOS E INDIRECTOS	
2.1. INTRODUCCIÓN	17
2.2. METODOLOGÍA	18
2.3. RESULTADOS	21
2.4. DISCUSIÓN	23
2.5. BIBLIOGRAFÍA	26
Capítulo 3: VALIDACIÓN DE LAS ECUACIONES DE CALIBRACIÓN DE BIOMASA AÉREA	
3.1. INTRODUCCIÓN	31
3.2. METODOLOGÍA	31
3.3. RESULTADOS	33
3.4. DISCUSIÓN	38
3.5. BIBLIOGRAFÍA	41

Capítulo 4: DISCUSIÓN GENERAL

4.1. ECUACIONES DE CALIBRACIÓN PARA ESTIMAR BIOMASA Y VALIDACIÓN DE LOS MODELOS	42
4.2. CONCLUSIONES GENERALES	43
4.3. PERSPECTIVAS PARA FUTURAS INVESTIGACIONES	44
4.5. BIBLIOGRAFÍA	45
APÉNDICE	46

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.1. Resultados de distintos trabajos de calibración sobre el pasturómetro.....	8
Cuadro 2.1. Biomasa aérea total y verde para cada estación del período bajo estudio.....	20
Cuadro 3.1. Estimadores de los parámetros de las ecuaciones de calibración utilizadas para validar los datos.....	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Grupo de observadores realizando la estimación visual en uno de los potreros del establecimiento (izquierda). Corte de biomasa con tijera eléctrica en una de las unidades de muestreo (derecha).....	5
Figura 1.2. Medición con el pasturómetro en el potrero de referencia (izquierda). Detalle de pasturómetro (derecha).....	6
Figura 1.3. Diferentes tipos de reglas graduadas para medir altura del canopeo.....	9
Figura 1.4. Dispositivo para medir pasturas (BPS) montado en posición de transporte en la parte posterior de un cuatriciclo.....	10
Figura 2.1. Vista general de uno de los potreros del establecimiento.....	18
Figura 2.2. Calibraciones para todo el período bajo estudio (un año, n=198) para biomasa aérea total y cada uno de los métodos indirectos.....	21
Figura 2.3. Estimaciones visuales en función de la proporción de biomasa verde, para todo el período bajo estudio (un año, n=198).....	22
Figura 2.4. Calibraciones estacionales para biomasa aérea total y cada uno de los métodos indirectos.....	23
Figura 3.1. Diferencias entre los cortes de biomasa aérea total y los valores absolutos (Abs) de los métodos indirectos (MI), relativos al corte, para cada estación.....	33
Figura 3.2. Regresiones lineales estacionales para cada uno de los métodos indirectos.....	34
Figura 3.3. Proporción de datos interceptados por el intervalo de confianza (IC) considerando la relación 1:1, para cada estación y para cada método indirecto.....	35
Figura 3.4. Diferencias entre los cortes de biomasa aérea total y los valores absolutos (Abs) de los métodos indirectos (MI), relativos al corte, por estación.....	36
Figura 3.5. Regresiones lineales estacionales para cada uno de los métodos indirectos.....	37
Figura 3.6. Proporción de datos interceptados por el intervalo de confianza (IC) considerando la relación 1:1, para cada estación y para cada método indirecto.....	38
Figura 3.7. Diferencias entre las estimaciones visuales (UV) y las biomásas obtenidas por corte (Corte) en función de a) proporción de biomasa verde, expresada en porcentaje, y b) biomasa aérea total, en kg MS/ha.....	38

ABREVIATURAS

A	Altura
AC	Altura comprimida
ANVA	Análisis de varianza
CMS	Consumo de materia seca
DE	Desvío estándar
EE	Error estándar
ha	Hectárea
INTA	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
kg	kilogramo
m	metro
mm	milímetros
n	Número de repeticiones
MS	Materia seca
OIP	Otoño-inverno-primaveral
PV	Peso vivo
R ²	Coefficiente de determinación
UV	Unidades visuales
VO	Vaca en ordeño
°C	Grado centígrado

RESUMEN

ESTIMACIÓN DE BIOMASA AÉREA EN PASTURAS TEMPLADAS DE SISTEMAS LECHEROS PASTORILES

En sistemas lecheros pastoriles la estacionalidad y la variación interanual de la productividad forrajera constituyen la principal restricción tanto biofísica como económica. La medición de biomasa aérea permite estimar el forraje disponible y la productividad forrajera. Para medir la biomasa aérea de un recurso el productor puede utilizar tanto métodos directos como indirectos. El presente trabajo estudia estos métodos de estimación de biomasa aérea en una pastura mixta (trébol blanco, trébol rojo y cebadilla) de un establecimiento lechero ubicado en Suipacha, Pcia. de Buenos Aires (Argentina). Entre 2007 y 2008 tres observadores recorrieron un potrero cada tres semanas y estimaron la biomasa aérea presente en 12 unidades de muestreo de 0,09 m². Luego, se cortó al ras del suelo el material presente en cada unidad, se recolectó y se llevó al laboratorio para su procesamiento. Los métodos indirectos utilizados fueron la estimación visual, el pasturómetro y la regla graduada. Se generaron ecuaciones de calibración para cada método a distintas escalas temporales (Capítulo 2). Los resultados sugieren que los métodos indirectos son buenos estimadores de la biomasa aérea obtenida por cortes, tanto a escala anual como a escala estacional. En algunos casos, la precisión de la calibración del método estuvo afectada por la estación considerada. La validación de los modelos se realizó a dos niveles de análisis (Capítulo 3). La validación con una ecuación por estación sugiere que el método más preciso fue la estimación visual. En cambio, la validación con una ecuación para todo el período sugiere que todos los métodos fueron poco precisos. Algunos de los métodos estudiados en este trabajo, como la estimación visual y el pasturómetro, se presentan como promisorios. El uso de métodos sencillos, económicos y prácticos como estos permitiría mejorar el manejo y la eficiencia de los sistemas de producción de leche de base pastoril.

Palabras clave: métodos directos e indirectos, ecuación de calibración, pasturas templadas, pasturómetro, producción de leche

ABSTRACT**HERBAGE MASS ESTIMATION IN TEMPERATE PASTURES OF PASTURE-BASED DAIRY PRODUCTION SYSTEMS**

In pasture-based dairy systems both seasonality and variation from year to year of forage productivity are main biophysical and economical restrictions. Herbage mass (HM) measurements allow estimating available HM and forage productivity. Dairy farmers can use both indirect and direct methods to estimate HM in a particular forage resource. This research paper studied the application of these methods on a mixed pasture (red and white clover, rescue grass), located in a dairy farm of Suipacha, Province of Buenos Aires (Argentina), on a mixed pasture. Between 2007 and 2008 three observers walked a paddock with a frequency of three weeks and estimated HM in 12 sample units of 0,09 m². Then, HM of each unit was cut at ground level, recollected and processed in a laboratory. Indirect methods utilised were visual estimation, rising plate meter and rule meter. Calibrations equations were generated for each method on different temporal scales (Chapter 2). Results suggested that indirect methods are good estimators of HM obtained with cuts, in both seasonal and annual scale. In some cases, precision of calibration of each method was affected by considered season. Models validation was realized at two levels of analysis (Chapter 3). Validation with one equation per season suggested that the most precise method was visual estimation. Validation with only one equation for all period suggested all methods were imprecise. Some methods studied in this paper, like visual estimation and rising plate meter, are promising. Use of easy, low-cost and practical methods like these would improve efficiency and management of pasture-based dairy systems.

Key words: direct and indirect methods, calibration equation, rising plate meter, milk production

INTRODUCCION GENERAL

En Argentina, existen unos 11.922 establecimientos lecheros o tambos¹ y alrededor de 1.800.667 vacas lecheras, cifra que aumenta a 3.522.107 si se consideran otras categorías como vaquillonas, novillos, novillitos, terneros y terneras, toros y bueyes (SENASA 2013). Para el año 2012 se estimó una producción de leche de 11.338 millones de litros (MAG y P 2013) lo que ubicó al país en el puesto 8º a nivel mundial (USDA 2013). Actualmente, el 94 % de la producción se concentra en las provincias de Córdoba, Santa Fe y Buenos Aires (MAG y P 2013). El principal producto de exportación es la leche en polvo (representa alrededor del 60 % de los productos de exportación) lo que ubicó al país en el puesto 5º a nivel global como exportador para el período 2005-2007 (FAO 2009, MAG y P 2013).

La producción de leche en Argentina es predominantemente pastoril, ya que el 72 % de la dieta está constituida por el consumo de forraje en pie. Los voluminosos, silaje y heno, constituyen un 11 % y los concentrados el 17 % restante (Castignani *et al.* 2005). En general, los recursos forrajeros de los tambos argentinos están basados en las praderas permanentes, con un complemento de verdeos de invierno y cultivos de verano; estos últimos destinados mayoritariamente para la confección de silaje (Castignani *et al.* 2005). Sin embargo, estudios recientes indicarían que se están produciendo cambios en la proporción de pasturas y concentrados utilizados en Argentina asociados al denominado proceso de "intensificación" (Chimicz y Gambuzzi 2007, Cursack *et al.* 2009, Centeno 2013, Candiotti *et al.* 2013).

En los sistemas pastoriles de producción de leche es muy importante cuantificar la biomasa aérea presente en un momento y su variación a través del tiempo. Esto permite, por ejemplo, estimar cuál es la cantidad de forraje disponible, qué proporción de forraje se consume en la dieta y determinar la tasa de crecimiento de los recursos forrajeros. Bajo las condiciones en que opera un establecimiento lechero comercial es difícil evaluar la biomasa aérea en forma precisa debido a la variación espacial que posee un canopeo bajo pastoreo (Spada y Cangiano 1991). El número y tamaño de las evaluaciones de biomasa aérea requeridas para un muestreo adecuado depende de la precisión que el estimador está intentando alcanzar. Diferencias en la altura del canopeo, densidad de plantas, composición botánica, estación y manejo previo del pastoreo pueden incrementar el error en la predicción de la biomasa aérea (O'Donovan *et al.* 2002a).

La tasa de crecimiento del forraje (también llamada productividad forrajera, productividad primaria neta aérea o PPNA) representa la tasa de creación de nueva biomasa vegetal aérea por unidad de superficie y tiempo. Por lo tanto, la tasa de crecimiento es una medida directa de la generación de alimento para el ganado (Oyarzabal *et al.* 2012). La estacionalidad y la variación interanual de la productividad forrajera constituyen frecuentemente la principal restricción, tanto biofísica como económica, de los sistemas de producción ganaderos (Grigera *et al.* 2007). Si se conoce la productividad forrajera y su variabilidad se puede realizar una adecuada planificación y utilización de los recursos forrajeros, ya que permitirá identificar con precisión los períodos de déficits y excesos de forraje. A su vez, esto permitirá generar diferentes estrategias de alimentación para el rodeo como la suplementación estratégica. Una forma de conocer cuál es la productividad forrajera de un sistema de producción es a través de la estimación de la biomasa aérea en distintos momentos. La biomasa aérea se define como la cantidad de forraje por unidad de área de suelo a nivel del mismo o por encima de un nivel de referencia, el que debe ser explicitado (por ejemplo, la altura) (Hodgson 1979). En nuestro país, el tambero frecuentemente utiliza la estimación visual para decidir qué potrero pastorear, así como los momentos de inicio y cese

¹ Esta denominación es comúnmente utilizada en Argentina y Uruguay.

de pastoreo. En este sentido, la capacidad del operador de un sistema pastoril y su entrenamiento para estimar la biomasa aérea con precisión es de gran importancia para mejorar el manejo de los sistemas.

El objetivo general del presente trabajo es estudiar la estimación de biomasa aérea forrajera través de diferentes métodos (directos e indirectos) y la precisión de los mismos para una pastura templada típica, en un sistema pastoril de producción de leche en Argentina.

El trabajo está formado por cuatro capítulos. En el **Capítulo 1** se realizó una revisión bibliográfica de los principales métodos de estimación de biomasa aérea. En el **Capítulo 2** se realizó la calibración de algunos métodos indirectos (estimación visual, pasturómetro y regla graduada) donde el método directo utilizado fue el método de cortes para el período de un año. Luego se realizó un análisis de las calibraciones a escala estacional y a escala anual. En el **Capítulo 3** se realizó la validación con los datos tomados a campo. En la primera validación se consideró una ecuación de calibración por estación, de modo de ver qué ventajas y desventajas puede tener para el productor adoptar este criterio. En la segunda validación se tomó como referencia la ecuación de calibración de primavera para todo el año. Finalmente, en el **Capítulo 4**, se discuten en conjunto los resultados de ambos análisis, y se plantean las implicancias y perspectivas que surgen del estudio realizado.

BIBLIOGRAFÍA

- Candioti, F.; Jáuregui, J.M.; Lazzarini, B. y Baudracco, J. 2013. Producción de leche y alimentación en tambos pastoriles y confinados. *Revista Argentina de Producción Animal*, 33 (1): 79.
- Castignani, H.; Zehnder, R.; Gambuzzi, E. y Chimicz, J. 2005. Caracterización de los sistemas de producción lecheros argentinos, y de sus principales cuencas. Asociación Argentina de Economía Agraria.
- Centeno, A. 2013. Intensificación en el tambo, ¿qué cambió? Ficha técnica N° 30. Sistemas de Producción. INTA Lechero (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria).
- Chimicz, J. y Gambuzzi, E. 2007. Cambios detectados en los sistemas de producción de leche de Argentina. *Revista Argentina de Producción Animal*, 27 (1): 322-323.
- Cursack, A.M.; Castignani, H.; Castignani, M.I.; Osan, O.; Suero, M. y Brizi, M.C. 2009. Sistemas lecheros mixtos en la Cuenca Central Santafesina: impacto de la intensificación y de la valoración de algunos servicios ambientales sobre los resultados económicos. VI Jornadas Interdisciplinarias de Estudios Agrarios y Agroindustriales. Facultad de Ciencias Económicas, UBA, Argentina.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2009. Agribusiness Handbook. Milk/Dairy Products. 47 páginas.
- Grigera, G.; Oesterheld, M.; Durante, M. y Pacín, F. 2007. Evaluación y seguimiento de la productividad forrajera. *Revista Argentina de Producción Animal*, 27 (2): 137-148.
- Hodgson, J. 1979. Nomenclature and definitions in grazing studies. *Grass and Forage Science*, 34: 11-18.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación (MAG y P), Argentina. 2013. Subsecretaría de Lechería. Consultada el 12/12/2013 en: http://64.76.123.202/site/_subsecretaria_de_lecheria/lecheria/07_Estad%C3%ADsticas/index.php
- O'Donovan, M.; Connolly, J.; Dillon, P.; Rath, M. y Stakelum, G. 2002a. Visual assessment of herbage mass. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 41: 201- 211.
- Oyarzabal, M.; Oesterheld, M.; Paruelo, J.M. y Pacín, F. 2012. Seguimiento satelital del forraje. Bases y aplicaciones. Buenas prácticas para una ganadería sustentable del pastizal. Fundación Vida Silvestre Argentina. Buenos Aires, Argentina. 28 p.
- SENASA (Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria). 2013. Dirección de Sanidad Animal – Dirección de Control de Gestión y Programas Especiales – Sistema de Gestión Sanitaria/SIGSA.
- Spada, M. del C. y Cangiano, C.A., 1991. El uso del disco en la estimación de la fitomasa aérea: una comparación con otros métodos. *Revista Argentina de Producción Animal*, 11(1):19-27.
- USDA (United States Department of Agriculture). 2013. Dairy: world markets and trade. Foreign Agricultural Service.

Capítulo 1: MÉTODOS DISPONIBLES PARA ESTIMAR BIOMASA AÉREA

1.1. MÉTODOS DIRECTOS E INDIRECTOS

Los métodos disponibles para medir biomasa aérea en un potrero pueden ser directos o indirectos. Los primeros requieren que se realice un muestreo destructivo (corte parcial o total de la muestra de forraje); por el contrario los métodos indirectos están basados en el uso de técnicas no destructivas entre las cuales se encuentran la estimación visual (altura, densidad, composición), el uso del pasturómetro o disco (altura y densidad), el uso del capacitómetro, la regla graduada o bastón aforado y el empleo de imágenes satelitales, entre otros (Cangiano 1996, Paruelo *et al.* 2000). Al utilizar un método indirecto se mide una variable o característica de la pastura que ha demostrado un alto grado de asociación con la biomasa aérea en el sitio de medición, para la condición del forraje que se mide. Los métodos indirectos son generalmente más rápidos que los directos y así es que, con ellos, se pueden realizar un mayor número de muestras en menos tiempo. Esto permite muestrear una mayor proporción del potrero y, en consecuencia, reducir el error de muestreo con un esfuerzo igual o menor (Cangiano 1996). El método que más se utiliza en investigación es el de doble muestreo que consiste en, por un lado, utilizar el método de cortes como método directo y, por otro, algún método indirecto que sirva de comparación. En general, el productor realiza una estimación cualitativa y visual, basada en su experiencia, de “falta pasto-sobra pasto” o “el pasto es malo-bueno” (Cangiano y Brizuela 2011). En general, en los sistemas lecheros argentinos existe desconocimiento de la productividad o tasa de crecimiento de las pasturas (Rossi y García 2001), con lo cual es fácil deducir que el productor no suele utilizar métodos de medición de la biomasa aérea, salvo casos excepcionales. En dichos casos los métodos más utilizados suelen ser la estimación visual y, rara vez, el método por cortes (M. Mondino, comunicación personal 2012).

1.1.1. El método de cortes

El método que brinda mayor exactitud en la determinación de biomasa aérea es el corte, secado y pesado de muestras, denominado comúnmente método de cortes. El corte del material vegetal de una superficie conocida (generalmente 0,10 – 0,30 m²) se realiza a nivel del suelo o a una altura previamente definida, la que debe ser mantenida en sucesivas mediciones. El material cortado se recolecta y se mantiene en refrigeración hasta su procesamiento en laboratorio, principalmente se seca en estufa para determinar el contenido de materia seca y se realiza un submuestreo para analizarlo químicamente (por ejemplo, análisis composicional). Constituye un método laborioso y puede ser poco preciso cuando resulta imposible obtener un adecuado número de muestras representativas, lo que depende del tiempo involucrado en este proceso (Spada y Cangiano 1991). Este método constituye habitualmente el método de referencia o comparación.

1.1.2. La estimación visual

La primera técnica de estimación visual aceptable en investigación fue la de Pechanec y Pickford en 1937. Desde entonces ha sido utilizada con numerosas modificaciones y éxito variables. Esta técnica ha sido recomendada como un método de trabajo eficiente y preciso para estimar la biomasa aérea, y permite que un observador realice ajustes basado en el conocimiento de los cambios producidos en respuesta al manejo del pastoreo o condiciones del ambiente (O'Donovan *et al.* 2002a). Las estimaciones visuales de la biomasa aérea implican algo más que una simple mirada al potrero. Se recomienda recorrer el potrero en forma sistemática de manera similar a como se haría con los otros tipos de muestreo. Sin duda se puede desarrollar la habilidad de hacer estimaciones visuales aunque ello lleva un cierto tiempo y esfuerzo y, a menos que observadores experimentados sean utilizados, se requiere

una calibración de la estimación visual cada vez que una serie de estimaciones se realiza. La ventaja de esta técnica es que las mediciones son hechas rápidamente y sin ningún equipamiento (Fernández 2004). Otros autores señalan que el desarrollo de la evaluación visual y táctil, en conjunto con el método de cortes, el secado y pesado de las muestras puede ayudar a una rápida estimación de la biomasa aérea (Griggs y Pack 2004). Esto implica que los observadores evalúan la pastura no solo visualmente, sino que también pueden emplear las manos para evaluar características como altura, densidad, estado de crecimiento y estructura del canopeo. La integración conjunta de la estimación visual y táctil proporcionaría mejores estimaciones de la biomasa aérea real (Figura 1.1).



Figura 1.1. Grupo de observadores realizando la estimación visual en uno de los potreros del establecimiento (izquierda). Corte de biomasa aérea con tijera eléctrica en una de las unidades de muestreo (derecha). Créditos: L. Millapán.

Campbell y Arnold (1973) encontraron que observadores entrenados fueron consistentes para estimar correctamente la biomasa aérea de pasturas anuales, en seco y bajo riego, como lo demostró el grado de asociación entre las estimaciones realizadas por estos observadores y cortes al ras del suelo ($R^2 > 0,70$). Por otra parte, Thomson y colaboradores (1997) determinaron que un observador entrenado era capaz de evaluar la biomasa aérea de una pastura, sobre sitios que presentaron un rango de biomásas aéreas, con un relativo grado de confiabilidad. El valor estimado por este observador fue más cercano a la medición real que aquel determinado por un observador no entrenado. Asimismo, se encontró que observadores entrenados que calibraron sus estimaciones con cortes al ras del suelo tuvieron menor error que observadores no entrenados (O'Donovan *et al.* 2002a). Se ha señalado que sin cortes de calibración el procedimiento es de valor limitado en investigación. Es más probable ser exitosos si se utilizan como referencia fotografías con productividades conocidas mientras se hacen las estimaciones. Adicionalmente, resulta más sencillo evaluar pasturas monoespecíficas o con mezclas simples (Mannetje 2000). Si bien es un método rápido, fácil y de bajo costo, suele variar según las especies que componen la pastura y las variables ambientales; suele ser el más utilizado a campo.

En Australia, a partir de un uso extensivo de esta metodología se concluyó que la mayoría de los observadores requieren un entrenamiento previo para realizar estimaciones ajustadas; los observadores entrenados hacen mejores estimaciones que los no entrenados; observadores sin entrenamiento sobreestiman el efecto de la altura y sub-estiman el efecto de la densidad del canopeo; es importante que el observador conozca el rango de biomásas aéreas a ser observadas en cada momento, y que la estimación visual debe ser regularmente calibrada con cortes, aún cuando los observadores tengan experiencia previa (Fernández 2004).

1.1.3. El pasturómetro

El pasturómetro (en inglés, weight-disc o rising plate meter) consiste en un disco que se desplaza sobre un eje o bastón vertical y que registra el valor de altura de la biomasa aérea comprimida por el peso del disco (Cangiano 1996) (Figura 1.2). De esta manera puede considerarse que la medición de altura está determinada por la capacidad de presión del disco, a su vez determinada por las características de densidad de la biomasa aérea (densidad = peso/volumen). Tanto la altura como la densidad son las dos características que más afectan la biomasa aérea y su apreciación visual (Spada y Cangiano 1992, Cangiano 1996). Se han descrito numerosos modelos de pasturómetros que difieren en forma, tamaño, peso, y materiales utilizados en su construcción (Earle y McGowan 1979, Spada y Cangiano 1991). En general, la presión ejercida por el pasturómetro se encuentra en el rango de 1,7 a 5,0 kg/m² (Cangiano 1996, Rayburn 1997, Hall y Deak 2007). Se han desarrollado ecuaciones de calibración que permiten transformar alturas comprimidas obtenidas con el pasturómetro en valores de biomasa aérea para pasturas de raigrás y trébol blanco (Sanderson *et al.* 2001). El uso del pasturómetro no está muy difundido en Argentina en los sistemas lecheros comerciales.



Figura 1.2. Medición con el pasturómetro en el potrero de referencia (izquierda). Crédito: L. Millapán. Detalle de pasturómetro (derecha). Crédito: www.jenquip.co.nz.

El pasturómetro ha sido ampliamente investigado como herramienta de trabajo que permite estimar la biomasa presente en una pastura, y utilizar esta información para calcular productividad forrajera y consumo de forraje por pastoreo. En la revisión de literatura se observó que el pasturómetro, en general, ha sido calibrado en pasturas de gramíneas o mezclas de gramíneas y leguminosas, pero es muy escasa la información generada en pasturas de leguminosas puras como la alfalfa (*Medicago sativa*). En el Cuadro 1.1 pueden observarse resultados de ensayos donde se empleó el pasturómetro. En Uruguay, en verdeos de avena y en pasturas mezclas de gramíneas y leguminosas, se han encontrado estimaciones confiables ($R^2 > 0.70$) tanto para altura como para disponibilidad, utilizando un tipo especial de pasturómetro (Rinaldi *et al.* 1997; Rinaldi y Sangenis 2002; Rinaldi 2004 y Rinaldi 2005). En Argentina, en el INTA Balcarce se desarrolló un pasturómetro electrónico mecánico, y sus respectivas ecuaciones, para medir la altura comprimida en pasturas, y de esa manera estimar la cantidad de materia seca de las mismas (Fernández *et al.* 2002). Por otra parte, los resultados obtenidos en un estudio de Intxusta Irisarri y colaboradores (2007) indican que el pasturómetro es una herramienta confiable para realizar estimaciones de la disponibilidad de

forraje también durante el período de rebrote, a los fines de tomar decisiones de manejo para el cambio de los animales de una subdivisión a otra, o para realizar ajustes de carga. Otros estudios realizados en Argentina han encontrado buenas estimaciones de disponibilidad forrajera en pasturas puras de alfalfa en su segundo año de duración (Guaita *et al.* 2000) o en pasturas de base alfalfa (*M. sativa*, *Dactylis glomerata* y *Bromus willdenowii*) (Machado *et al.* 2003). Un trabajo realizado en alfalfa por Hakl y colaboradores (2012) señala al pasturómetro como una herramienta confiable para medir altura comprimida ($R^2=0.90$) en estadios previos a la floración y para tallos menores a 80 cm. Aún menor es la cantidad de trabajos realizados sobre otro tipo de recursos como los mallines patagónicos. Tal es el caso de un ensayo realizado sobre un mallín salino compuesto de *Juncos balticus*, *Distichlis sp.*, *Hordeum sp.* e intersebrado con Agropiro alargado donde se ha empleado el pasturómetro con gran precisión (Villa *et al.* 2005).

En Australia, en distintas pasturas bajo riego se estimó la productividad forrajera empleando un pasturómetro y se encontró que mientras hubo sólo pequeñas diferencias en precisión entre tipos de pasturas, la productividad de pasturas en pre-pastoreo fue medida con mayor precisión que la productividad en post-pastoreo (Stockdale 1984). Asimismo, el pasturómetro estimó la productividad en pre-pastoreo con mayor precisión que la estimación visual, mientras que ambas técnicas fueron similares en la estimación de forraje en post-pastoreo (Stockdale 1984). En Irlanda, algunos autores señalan que es necesaria la formulación de ecuaciones de calibración para ser utilizadas en condiciones específicas de la pastura y que la adaptación estacional debería ser necesaria (Barrett y Dale 2005). Por otra parte, un estudio realizado en Nueva Zelanda concluyó que el pasturómetro es apropiado para la selección de parcelas utilizando la altura o biomasa aérea promedio. Adicionalmente, el pasturómetro podría estimar la biomasa aérea promedio e identificar cambios, sin embargo suele subestimar consistentemente con respecto a la estimación visual. Además, el pasturómetro no sería recomendado para estimar acumulación neta de forraje ni para estimar consumo de materia seca (CMS) (Lile *et al.* 2001).

El uso del pasturómetro resulta adecuado en pasturas homogéneamente pastoreadas (es decir, de forma tal de favorecer el mantenimiento de estas características en el tiempo), que se encuentren en estado vegetativo y sobre terrenos llanos. Existe una alta variabilidad en los resultados debido a los diferentes tipos de pasturómetros usados y a variaciones en los métodos de trabajo (por ejemplo, cortar el forraje a distintas alturas, dejar caer el pasturómetro de diferentes alturas, o desplazamiento del pasturómetro que se aparta de la vertical), con lo que la comparación entre pasturómetros y con otros métodos es difícil de realizar. Es evidente que el uso de estos instrumentos depende de las calibraciones locales que cada usuario realice (Cangiano 1996).

Cuadro 1.1. Resultados de distintos trabajos de calibración sobre el pasturómetro. n= número de observaciones. R²= coeficiente de regresión para la relación entre biomasa aérea (MS/ha) y altura comprimida de pasturómetro (cm). RSD= Desvío estándar de los residuos (kg MS/ha). CV= coeficiente de variación (%). ¹ Pre/post pastoreo ² Precisión de la predicción (kg MS/ha), basado en lecturas sobre 100 metros por determinación ³ Estación temprana/tardía * Biomasa mayor a 40 mm/Biomasa total (Adaptado de Hansson 2011a).

n	R ²	RSD	CV	Tipo de pastura	Referencia
523	0.796	370	17.2	Raigrás perenne y trébol blanco	Earle y Mc Gowan, 1979
302	0.797	368	18.3	Raigrás perenne y trébol blanco	Earle y Mc Gowan, 1979
80	0.52	753		Pasto ovilla, <i>Phleum spp.</i> , trébol blanco y otras especies	Rayburn & Rayburn, 1998
224/76 ¹	0.74/0.77	748/734	20.4/32.0	Raigrás perenne y trébol blanco	Stockdale, 1984
322/263	0.80/0.72	635/580	13.7/20.5	<i>Paspalum</i>	Stockdale, 1984
629/633	0.61/0.62	967/813	23.3/28.8	Trébol subterráneo, raigrás anual y otras especies	Stockdale, 1984
60	0.94/0.86 ¹	216/134 ¹		Avena	Spada y Cangiano, 1991
60	0.93/0.60 ¹	341/794 ¹		Raigrás	Spada y Cangiano, 1991
30	0.96	341		Raigrás, pasto ovilla, trébol blanco y trébol rojo	Spada y Cangiano, 1991
1242	0.80	240/61 ²		Raigrás perenne y trébol blanco	Fulkerson y Slack, 1993
110/114 ³	0.95/0.78	163/232 ²		Kikuyu	Fulkerson y Slack, 1993
70/64	0.80/0.78	158/263 ²		Setaria	Fulkerson y Slack, 1993
250	0.94/0.88*	221.6/318.3*		Raigrás perenne y otras especies.	O'Donovan et al., 2002b

1.2. OTROS MÉTODOS DE ESTIMACIÓN

Existen otros métodos rápidos y simples para estimar la biomasa aérea pero están menos difundidos; uno de ellos es el capacitómetro. La capacitancia es la propiedad de un capacitor para almacenar una cierta cantidad de electricidad en función de su constante dieléctrica. La constante dieléctrica del aire es cero y aumenta a medida que aumenta la humedad del entorno. Un capacitómetro mide los cambios de capacitancia producidos alrededor del instrumento al reemplazar el aire por el agua contenida en la biomasa forrajera (Danelón *et al.* 2001). Cambios de la capacitancia de la pastura reflejan cambios en los contenidos de materia seca; su funcionamiento está afectado por la humedad ambiental y de la vegetación (relación material verde:senescente) (Spada y Cangiano 1992), y por la estructura de la pastura (Burgueño 1997).

Otros métodos como el de la regla graduada (Figura 1.3), la vara métrica o el bastón aforado están basados en la buena correlación que existe entre la altura de canopeo y la biomasa aérea. La regla graduada suele ser usada con frecuencia en Nueva Zelanda (AgResearch 2012) y también se ha usado con éxito en pasturas de alfalfa de Argentina (Cangiano y Pece 2005). Es común que estas reglas tengan incorporadas calibraciones generales para cada estación de modo que el usuario al medir la altura de la pastura inmediatamente puede calcular la biomasa. La regla graduada tiene una gran ventaja: es simple de manipular y transportar. Algunas de las desventajas del método son: la estimación puede estar influenciada por el observador, ya que las mediciones pueden ser leídas desde cualquier altura o ángulo; y el bajo peso y el material flexible con el cual están hechas quizá dificultan determinar cuándo realmente el instrumento está ubicado en el suelo en forma correcta; además, las mediciones son anotadas manualmente en una planilla lo que demanda tiempo, una desventaja común con otros métodos ya mencionadas (Hansson 2011a). Pero una de las principales desventajas es que no permite detectar cambios debidos a variación en la densidad del forraje, por lo que frecuentemente resultan de escasa utilización práctica.



Figura 1.3. Diferentes tipos de reglas graduadas para medir altura del canopeo. Créditos: Meat & Livestock, Australia (derecha). L. Millapán (izquierda).

Hace algunos años en Nueva Zelanda se desarrolló un método indirecto para medir biomasa aérea denominado comercialmente como Rapid Pasture Meter (C-DAX Systems Ltd, Palmerston North, Nueva Zelanda). Este dispositivo se basa en mediciones repetidas de altura de biomasa medidas indirectamente a través de rayos de luz interceptados por sensores equidistantes. El mismo es montado detrás de un cuatriciclo, y se puede obtener una gran

cantidad de mediciones de la cobertura de la pastura (unas 200 por segundo); puede utilizarse a velocidades mayores a 20 km/h (Yule *et al.* 2006, King *et al.* 2010). Este dispositivo ha sido probado con éxito en Australia bajo la sigla BPS. Debido a que el método es rápido y fácil de usar, su potencial de adopción podría ser muy alto (Lyons 2007) (Figura 1.4). Por otra parte, el Ellinbank Automatic Pasture Reader (Department of Primary Industries (DPI) Victoria, Ellinbank, Australia) es una herramienta similar al descrito anteriormente cuyo sensor utiliza ondas de sonido. De modo similar al Rapid Pasture Meter, puede ser montado en el frente, al costado o detrás de un cuatriciclo para estimar biomasa mientras el vehículo recorre las parcelas. Esta herramienta puede obtener alrededor de 15 observaciones por metro, dependiendo de la velocidad empleada (www.pasturereader.com.au). También se han desarrollado otros instrumentos como los sensores ultrasónicos que han sido utilizados con éxito (Fricke *et al.* 2011).



Figura 1.4. Dispositivo para medir pasturas (BPS) montado en posición de transporte en la parte posterior de un cuatriciclo. Crédito: N. Lyons.

Los radiómetros también constituyen una promisoría metodología de estimación de biomasa forrajera y productividad. Miden la radiación que es reflejada por una superficie y pueden estar a bordo de satélites o en equipos manuales (Cangiano y Brizuela 2011). Los sensores remotos son radiómetros, a bordo de satélites, con los que se obtienen imágenes satelitales que evalúan propiedades de la superficie terrestre (teledetección). El sistema de imágenes satelitales permite estimar la productividad forrajera en grandes extensiones en forma confiable y con alta frecuencia, además de cuantificar variaciones intra e interanuales de producción de los principales recursos forrajeros (Cangiano y Brizuela 2011). Uno de los índices utilizados ampliamente derivados de los sensores remotos montados en satélites es el Índice de Vegetación Verde Normalizado o NDVI (por sus siglas en inglés de Normalised Difference Vegetation Index) (Tucker 1979), o simplemente “Índice Verde”. Se han encontrado correlaciones positivas (81 %) entre la estimación de biomasa realizadas con pasturómetro y NDVI (Edirisinghe *et al.* 2012). Si bien la disponibilidad de datos satelitales presenta aún algunas restricciones metodológicas y su aplicabilidad en predios pequeños resulta limitada (Piñeiro *et al.* 2001, Lyons 2007), el uso de imágenes satelitales tiene un potencial muy importante, ya que cada vez se presentan mayores avances tecnológicos asociados a la resolución espacial y temporal. En este sentido, existen algunos proyectos reconocidos para medir la productividad forrajera como “Pastures from Space” de Australia (www.pasturesfromspace.csiro.au) (Gherardi *et al.* 2005) o el “Sistema de estimación y seguimiento de la productividad forrajera” del Laboratorio de Análisis Regional y Teledetección (LART) de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (FAUBA), Argentina (www.agro.uba.ar/laboratorios/lart).

Se espera que en un futuro cercano la información sobre el crecimiento de la pastura pueda ser capturada automáticamente. En Australia y Nueva Zelanda se está trabajando sobre

el concepto de “mapeo dinámico”. Por ejemplo, se obtiene información de tasas de crecimiento diferenciales de diferentes áreas dentro de una parcela, o entre parcelas sembradas con especies similares. Modelos sofisticados, actualmente en desarrollo, toman y analizan esta información para calcular la variabilidad verdadera en el crecimiento y utilización de la pastura, y realizar ajustes para reducir la cantidad de pastura no utilizada. El modelo PGSUS (por sus siglas en inglés de Pasture Growth Simulation Using Smalltalk) desarrollado por el equipo de modelización de Dairy NZ (Romera *et al.* 2010) utiliza algoritmos genéticos para optimizar la asignación de pastura basada en tasas de crecimiento “corregidas” para parcelas individuales. PGSUS contiene un modelo relativamente simple que predice la tasa de crecimiento de pastura a partir de datos edáficos y climatológicos, pero “aprende” de mediciones previas de cobertura de pastura en parcelas individuales para adaptar mejor la tasa de crecimiento promedio para cada parcela en el establecimiento (García *et al.* 2013, Romera *et al.* 2013).

1.3. COMPARACIÓN ENTRE MÉTODOS

En Brasil, en pasturas de *Cynodon spp.* se estudiaron varios métodos de estimación de biomasa (cortes, altura y pasturómetro) encontrándose que la calibración de dichos métodos debe ser específica para cada cultivar y realizadas frecuentemente para que las ecuaciones generadas sean precisas. Asimismo, las variaciones entre métodos se atribuyen a la variabilidad en la estructura de las plantas, particularmente la proporción de material senescente (Fernandes da Cunha 2002). Otro estudio también realizado en ese país, señala que al evaluar la biomasa forrajera en raigrás con tres métodos (cortes, pasturómetro y observación visual) no se hallaron diferencias entre dichos métodos (Farinatti *et al.* 2000). En pasturas de Chile, mayoritariamente gramíneas con la incorporación de leguminosas, no se ha encontrado un método superior a otro en un estudio donde se compararon diferentes tipos de pasturómetros con un bastón medidor y una regla medidora (Saavedra G. 2002). Otro estudio del mismo país señala que el pasturómetro fue más confiable ($R^2 > 0,70$) con respecto a una regla graduada y un bastón de capacitancia en pasturas mezcla de gramíneas y leguminosas (Demanet y Canseco 2006). Asimismo, se han realizado estudios con pasturómetros en pasturas subtropicales, donde la estimación fue relativamente buena (Fulkerson y Slack 1993). Se sabe que existe una fuerte relación lineal entre la estimación visual y el pasturómetro, con lo cual se ha propuesto una combinación de ambos procedimientos lo que podría reducir hasta un 25 % el tiempo requerido para medir semanalmente la altura del canopeo (Bryan *et al.* 2001). Por otra parte, comparando un pasturómetro con un bastón de altura (instrumento que mide la altura de la biomasa aérea) se encontró que los coeficientes de determinación (R^2) de ambos métodos presentaron una precisión similar en las calibraciones realizadas, excepto en otoño (Machado *et al.* 2003). Algunos estudios han realizado comparaciones entre dos pasturómetros, uno de origen neozelandés y otro de origen argentino, obteniéndose similar grado de precisión en la estimación de biomasa de pasturas mezclas de gramíneas y leguminosas, en pasturas templadas de la Provincia de Buenos Aires, Argentina (Fernández *et al.* 2003).

En Argentina se realizaron experimentos que confirman la factibilidad de obtener buenas estimaciones de la disponibilidad de forraje en parcelas pastoreadas mediante cortes de la pastura o con estimaciones visuales, ya que entre ambas determinaciones existe una alta correlación. Si la variabilidad existente es baja, posiblemente el método de cortes sea el más adecuado y rápido dado que no necesita establecer ninguna relación previa. Por el contrario, el método visual presenta ventajas cuando es necesario obtener un número alto de muestras, ya que estas se logran en menor tiempo (Assuero *et al.* 1989). En pasturas de ciclo otoño-inverno-primaveral (OIP) en la Provincia de Buenos Aires, la utilización conjunta de

capacitancia y altura de canopeo comprimida por el pasturómetro al ser analizado por regresión por doble muestreo, no produjo estimaciones más confiables ni más precisas que el método de cortes. Sin embargo, mejoró las estimaciones de biomasa forrajera aérea comparada con las obtenidas con cada método por separado, pero no en magnitud apreciable (Danelón *et al.* 2001).

En la revisión bibliográfica se encontraron dos estudios de Argentina que comparan el uso de los métodos (Bisio *et al.* 2001, Oyhamburu *et al.* 2003). En uno de ellos se utilizaron varios métodos (corte, pasturómetro, regla graduada y estimación visual) durante un período de un año para tres tipos de pasturas: 1) mezcla de alfalfa, festuca y cebadilla criolla, 2) alfalfa pura y 3) avena pura. Los autores concluyeron que todos los métodos tuvieron buena precisión, y que no hubo subestimación ni sobreestimación de la biomasa aérea (Bisio *et al.* 2001). No obstante, las comparaciones de métodos de estimación de biomasa aérea mostradas se realizaron en condiciones variables y los resultados no parecen ser uniformes. En el otro estudio, realizado en promociones de raigrás (*Lolium multiflorum*), se han realizado estimaciones de biomasa comparando entre los métodos de corte, observación visual y medición de la altura. Este trabajo sugiere que la estimación visual es una buena alternativa (Oyhamburu *et al.* 2003). Las consideraciones para escoger un método sobre otro se basarían en factores como costos, facilidad de uso, composición botánica de la pastura, requerimiento de calibración (por ejemplo, los pasturómetros requieren calibraciones menos frecuentes) y las condiciones climáticas de la zona (Saavedra G. 2002). Por otra parte, L'Huiller y Thompson (1988) señalan que cuando se deba elegir alguno de los métodos disponibles se deberían contemplar más los objetivos que se persiguen y considerar factores como simplicidad, costo, conveniencia y preferencia personal que las diferencias de precisión.

1.4. BIBLIOGRAFÍA

- AgResearch, 2012. Pasture quality: visual assessment. Beef + Lamb New Zealand. 14 pp.
- Assuero, S.G.; Escuder, C.J. y Norbis, H. 1989. Comparación de dos metodologías para estimar la disponibilidad de forraje en parcelas pastoreadas. *Revista Argentina de Producción Animal*, 9 (2): 115-119.
- Barrett, P.D. y Dale, A.J. 2005. Assessment of rising plate meter calibration on Northern Ireland dairy farms. *Irish Grassland and Animal Production Association*, p 113.
- Bisio, A.; Larripa, M.; Galli, J. y Cangiano, C. 2001. Comparación de metodologías para estimar fitomasa aérea en pasturas cultivadas. *Revista Argentina de Producción Animal*, 21 (1): 101-103.
- Bryan, W.B.; Prigge, E.C.; Nestor, E.L.; Gekara, O.J. y Schettini, M.A. 2001. Sward height; visual estimate compared with plate meter height. *Proceedings of the XIX International Grassland Congress*. 11-21 February 2001. San Pablo, Brasil. 1044-1045.
- Burgueño, J. 1997. Evaluación de un medidor de materia seca de forraje por capacitancia. III Calibración. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 5 (1): 22-24.
- Cangiano, C.A. y Brizuela, M. Cómo evaluar la pastura, pp 237-258, En: Producción animal en pastoreo. 2011. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria Balcarce, Área de Producción Animal. Balcarce, Buenos Aires, Argentina. 516 pp.
- Cangiano, C.A. y Pece, M.A. 2005. Acumulación de biomasa aérea en rebrotes de alfalfa en Balcarce. *Revista Argentina de Producción Animal*, 25:39-52.
- Cangiano, C.A. (editor) Métodos de medición de la fitomasa aérea, pp. 117-128, En: Producción animal en pastoreo. 1996. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria Balcarce, Área de Producción Animal. Balcarce, Buenos Aires, Argentina. 144 pp.
- Danelón, J.L.; Dapunte, C.G.; Jaurena, G.; Cantet, R. y Saucedo, M.C. 2001. Eficiencia de la capacitancia y altura de canopeo comprimido (con disco) para estimar biomasa forrajera. *Revista Facultad de Agronomía*, 21 (3): 213-219.
- Demagnet, R. y Canseco, C. 2006. Comparación de métodos indirectos de estimación de la disponibilidad de forraje en praderas permanentes del sur de Chile. XXXI Reunión Anual de la Sociedad Chilena de Producción Animal. Sepúlveda, N. y Soto, P. (Ed.) pp: 9-10. Temuco, Chile.
- Earle, D. F. y McGowan, A. A. 1979. Evaluation and calibration of an automated rising plate meter for estimating dry matter yield of pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, 19: 337-343.
- Edirisinghe, A.; Clark, D. y Waugh, D. 2012. Spatio-temporal modelling of biomass of intensively grazed perennial dairy pastures using multispectral remote sensing. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 16:5-16.
- Farinatti, L.H.E.; Gomes Da Rocha, M.; Poli, C.H.C.; Bica, G. y Montagner, D. 2000. Comparação da determinação de forragem em uma pastagem de azêvem por diferentes métodos de avaliação. XVIII Reuniao Grupo Campos. Dinâmica de vegetação em ecossistemas pastoris. pp 137-138. Guarapuava, Paraná, Brasil.
- Fernandes da Cunha, W. 2002. Métodos indiretos para estimativa de massa de forragem em pastagens de *Cynodon spp*. Tesis de Maestría. Dissertação (mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de Sao Paulo. Piracicaba, Sao Paulo, Brasil. 58 p.: il.

- Fernández, H.H.; Chiapa, L. y Tiberio, D. 2002. Pasturómetro electrónico mecánico Balcarce (PemBalc) para estimar la cantidad de materia seca en pasturas. *Revista Argentina de Producción Animal*, 22 (1): 339.
- Fernández, H.H.; Iturrioz, J. y Guaita, M.S. 2003. Estimación de la fitomasa aérea: comparación de dos pasturómetros. *Revista Argentina de Producción Animal*, 23 (1): 209.
- Fernández, H.H. 2004. Estimación de la disponibilidad de pasto. Publicación ocasional. Área de Producción Animal, Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Balcarce, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Argentina.
- Fricke, T.; Richter, F. y Wachendorf, M. 2011. Assessment of forage mass from grasslands swards by height measurement using an ultrasonic sensor. *Computers and Electronics in Agriculture*, 79: 142-152.
- Fulkerson, W.J. y Slack, K. 1993. Estimating mass of temperate and tropical pastures in the subtropics. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 33: 865-869.
- García, S.C.; Clark, C.E.F.; Kerrish, K.; Islam, M.R.; Fariña, S.R. y Evans, J. 2013. Gaps and variability in pasture utilisation in Australian pasture-based dairy systems. *Proceedings of the 22nd International Grassland Congress*. Sydney, Australia.
- Gherardi, S.G.; Anderton, L.; Sneddon, J.; Oldham, G. y Mata G. 2005. Application of satellite-derived pasture predictions improve the profitability of Australian sheep producers. XX International Grassland Congress: Offered papers. F.P. O'Mara (ed.). Wageningen Academic Publishers, 975 páginas.
- Griggs, T.C. y Pack, K. 2004. Guidelines for visual assessment of herbage mass in pastures. AG/Forage & Pasture. Utah State University, Cooperative Extension Service.
- Guaita, M.S.; Fernández, H.H.; Gagliostro, G.A. y Cendoya, M.G. 2000. Calibración de un pasturómetro en una pastura de alfalfa. *Revista Argentina de Producción Animal*, 20 (1): 183.
- Hakl, J.; Hrevusova, Z.; Hejcman, M. y Fuksa, P. 2012. The use of a rising plate meter to evaluate lucerne (*Medicago sativa* L.) height as an important agronomic trait enabling yield estimation. *Grass and Forage Science*, 67:589-596.
- Hall, M. y Deak, A. 2007. Determining pasture yield. College of Agricultural Sciences, Agricultural Research and Cooperative Extension. The Pennsylvania State University.
- Hansson, L. 2011. Herbage dry matter of pastures estimated through measures of sward height. Master's thesis. Department of Large Animal Science, Faculty of Life Sciences, University of Copenhagen. 78 pp.
- Intxusta Irisarri, J.; Brizuela, M.A.; Fernández, H.H.; Guaita, M.S. y Cid, M.S., 2007. Estimación de acumulación de forraje durante el rebrote de una pastura mediante un pasturómetro. *Revista Argentina de Producción Animal*, 27 (1): 130-131.
- King, W.McG.; Rennie, G.M.; Dalley, D.E.; Dynes, R.A. y Upsdell, M.P. 2010. Pasture mass estimation by the C-DAX Pasture Meter: Regional calibrations for New Zealand. *Proceeding of the 4^o Australasian dairy Science Symposium*, 233-238.
- L'Huillier, P.J. y Thompson, N.A. 1988. Estimation of herbage mass in ryegrass/white clover dairy pastures. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association* 49: 117-122.
- Lile, J.A.; Blackwell, M.B.; Thomson, N.A.; Penno, J.W.; Macdonald, K.A.; Nicholas, P.K.; Lancaster, J.A.S. y Coulter, M. 2001. Practical use of the rising plate meter (RPM) on New Zealand dairy farms. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, 63: 159-164.

- Lyons, N.A. 2007. Calibración de un nuevo método de estimación indirecta de disponibilidad forrajera en pasturas típicas de Australia. Tesis para acceder al título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires (UBA), Argentina.
- Machado, C.; Berger, H.; Morris, S.T.; Hodgson, J.; Copes, M. y Duhalde, J. 2003. Calibración estacional de mediciones de altura del canopeo con plato y con bastón de altura para estimar la biomasa forrajera de una pastura base alfalfa. *Revista Argentina de Producción Animal*, 23 (1): 214-215.
- Mannetje, L. 't 2000. Measuring biomass of grassland vegetation. In: Field and laboratory methods for grassland and animal production research (Eds. L. 't Mannetje y R. M. Jones). CAB International.
- O'Donovan, M.; Connolly, J.; Dillon, P.; Rath, M. y Stakelum, G. 2002a. Visual assessment of herbage mass. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 41: 201- 211.
- O'Donovan, M.; Dillon, P.; Rath, M. y Stakelum, G. 2002b. A comparison of four methods of herbage mass estimation. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 41: 17-27.
- Oyhamburu, E.M.; Heguy, B. y Antonini, A. 2003. Estimación de biomasa total basada en cortes, apreciación visual y altura del canopeo, en promociones de raigrás. *Revista Argentina de Producción Animal*, 23 (1): 153-154.
- Paruelo, J.M.; Lauenroth, W. K.; Roset, P. A. 2000. Estimating aboveground plant biomass using a photographic technique. *Journal of Range Management*, 53 (2): 190-193.
- Piñeiro, G.; Oesterheld, M. y Paruelo, J.M. 2001. Estimación de la productividad y la biomasa aérea de pasturas templadas de Sud América mediante imágenes satelitales. *Revista Argentina de Producción Animal*, 21 (1): 129-130.
- Rayburn, E.B. 1997. An acrylic pasture weight plate for estimating forage yield. West Virginia University Extension Service [online] Último ingreso: 16/12/2010 Disponible en: www.caf.wvu.edu/~forage/pastplate.htm
- Rayburn, E.B. y Rayburn, S.B. 1998. Estimating pasture mass in on-farm research trials. *Agronomy Journal*, 90: 238-241.
- Rinaldi, C.; Mattiauda, D. y Favre, E. 1997. Ajuste de un disco de resistencia para diferentes situaciones forrajeras. *Revista Argentina de Producción Animal*, 17 (1): 187-188.
- Rinaldi, C. y Sangenis, M. 2002. Empleo de un disco de resistencia para estimar disponibilidad y altura de pasturas. *Revista Argentina de Producción Animal*, 22 (1): 239-240.
- Rinaldi, C. 2004. Ajuste de un disco de resistencia para pasturas sembradas en basamento cristalino del Uruguay. *Revista Argentina de Producción Animal*, 24 (1): 244-245.
- Rinaldi, C. 2005. Disponibilidad de forraje, compresibilidad y altura de pasturas sembradas en basamento cristalino del Uruguay. *Revista Argentina de Producción Animal*, 25 (1): 229-230.
- Romera, A.J.; Beukes, P.; Clark, C.; Clark, D.; Levy, H. y Tait, A. 2010. Use of a pasture growth model to estimate herbage mass at a paddock scale and assist management on dairy farms. *Computers and Electronics in Agriculture*, 74 (1): 66-72.
- Romera, A.; Beukes, P.; Clark, D.; Clark, C. y Tait, A. 2013. Pasture growth model to assist management on dairy farms: Testing the concept with farmers. *Grassland Science*, 59: 20-29.
- Rossi, J.L. y García, S.C. 2001. ¿Cuál es el "piso" de la producción pastoril? Publicación ocasional. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina. 4 pp.

- Saavedra G., M.C. 2002. Comparación entre métodos de estimación de disponibilidad de materia seca en praderas naturales de la VI Región. Tesis de grado. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Chile. 123 pp.
- Sanderson, M. A.; Rotz, C. A.; Fultz, S. W. y Rayburn, E. B. 2001. Estimating forage mass with a commercial capacitance meter, rising plate meter, and pasture ruler. *Agronomy Journal*, 93: 1281-1286.
- Spada, M. del C. y Cangiano, C.A., 1991. El uso del disco en la estimación de la fitomasa aérea: una comparación con otros métodos. *Revista Argentina de Producción Animal*, 11(1):19-27.
- Spada, M. del C. y Cangiano, C. A., 1992. Evaluación de un capacitómetro para estimar la fitomasa aérea. *Revista Argentina de Producción Animal*, 12 (1): 33-38.
- Stockdale, C.R. 1984. Evaluation of techniques for estimating the yield of irrigated pastures intensively grazed by dairy cows. 2. The rising plate meter. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, 24: 305-311.
- Tucker, C.J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8:127-150.
- Villa, M.; Buratovich, O. y Nakamatsu, V. 2005. Estimación indirecta de la disponibilidad de forraje en mallines salinos intersembrados con Agropiro alargado. *Revista Argentina de Producción Animal*, 25 (1):173-174.
- Yule, I.; Fulkerson, B.; Lawrence, H. y Murray, R. 2006. Pasture measurement: The first step towards precision dairying. 10th Annual Symposium on Precision Agriculture Research & Application in Australasia.

Capítulo 2: GENERACIÓN DE ECUACIONES DE CALIBRACIÓN DE BIOMASA AÉREA UTILIZANDO MÉTODOS DIRECTOS E INDIRECTOS

2.1. INTRODUCCION

Todos los métodos que miden características del canopeo de una pastura para estimar la cantidad de biomasa son dependientes de una calibración. En Argentina no es habitual que el productor utilice ecuaciones de calibración para estimar la biomasa aérea y rara vez se utiliza el método de cortes, que es el más tradicional. La calibración relaciona alguna característica de la pastura (por ejemplo, altura del canopeo) con la variable dependiente (por ejemplo, biomasa aérea (kg MS/ha)). Esta relación es frecuentemente descrita a través una ecuación de regresión (Hansson 2011a). Es decir, una ecuación de calibración es una regresión lineal donde una de las variables deriva de un método directo de estimación de forraje (por ejemplo, cortes), mientras que la otra variable deriva de un método indirecto (por ejemplo, estimación visual, pasturómetro o regla graduada).

La mayoría de la información sobre métodos para estimar la biomasa aérea ha sido desarrollada en países con tradición en lechería pastoril como el Reino Unido, Australia y Nueva Zelanda. En Argentina, diferentes autores han demostrado interés en calibrar estos métodos con el fin de promover su uso en la operación de sistemas pastoriles. En otros países se han desarrollado ecuaciones de calibración para el pasturómetro (Sanderson *et al.* 2001, Fernández *et al.* 2002, Barrett y Dale 2005) y para estimación visual (O'Donovan *et al.* 2002b). Los resultados obtenidos en estos trabajos han sido muy diferentes a pesar del esfuerzo realizado, incluso con el desarrollo de nuevos dispositivos (como el pasturómetro electrónico mecánico de INTA Balcarce). Una de las razones de la falta de precisión puede explicarse por la variabilidad existente entre especies y estructura de los recursos forrajeros en los sistemas de producción de Argentina, y la consecuente necesidad de realizar calibraciones muy localizadas (Cangiano 1996, Fernandes da Cunha 2002, Machado *et al.* 2003). Las ecuaciones de calibración pueden variar también entre estaciones de crecimiento, aunque la variación observada es menor dentro de la misma estación (Cangiano 1996).

El contenido de materia seca de las muestras puede obtenerse ya sea por tablas o luego de secar las muestras en estufa. Mientras que la utilización de tablas es un método rápido, el uso de estufas de circulación forzada demora 24 a 72 hs de acuerdo al tipo de muestra. El uso de microondas para secar muestras presenta una estimación casi inmediata de la cantidad de materia seca lo cual puede presentar una ventaja en sistemas de asignación diaria de áreas a pastoreo (Petruzzi *et al.* 2005). La estimación de biomasa con un método indirecto adicional (ya sea estimación visual o pasturómetro) permitiría generar una ecuación de calibración a partir de estos datos y las mediciones de biomasa obtenidas por cortes. Una vez obtenida la ecuación de calibración, no sería necesario realizar nuevos cortes de biomasa, pues ya puede realizar las estimaciones de biomasa utilizando la ecuación de calibración con cierta precisión. La frecuencia con la que se realicen nuevos cortes dependerá básicamente de intentar "acoplarse" a los cambios que se van produciendo en la pastura. Así, es de esperar que se realicen más calibraciones durante la época de activo crecimiento de la pastura, y viceversa. Los cambios en la cantidad de biomasa de la pastura, entonces, pueden estar asociados a: cambios fenológicos, condiciones climáticas, aspectos relativos al manejo, etc. Es decir, que se podrían generar calibraciones cuantas veces sea posible, lo cual es en definitiva una relación de compromiso entre el tiempo invertido en realizar la calibración y la precisión del dato a obtener (cantidad de biomasa). La ventaja de calibrar una sola vez por estación redundante en disminuir el tiempo dedicado a la calibración, si es que la precisión de las calibraciones se considera buena.

El objetivo de este capítulo fue realizar la calibración de tres métodos indirectos de estimación de biomasa aérea (estimación visual, pasturómetro y regla graduada) para diferentes estaciones del período bajo estudio.

2.2. METODOLOGÍA

2.2.1. Sitio de estudio

Este trabajo se realizó en el establecimiento “La Fermina” de la Fundación Instituto de la Leche (Figura 2.1), ubicado en la localidad de Suipacha, Provincia de Buenos Aires, Argentina (34° 40' de Latitud Sur y 59° 42' de Longitud Oeste). El clima es templado húmedo con temperaturas bajas en otoño e invierno. Las precipitaciones acumuladas durante el período de estudio alcanzaron 860 mm, por debajo del promedio anual de 1.100 mm calculado para los últimos 10 años; la temperatura media del período fue 23,6 °C, levemente por encima del promedio anual de 22,7 °C estimado para los últimos 10 años (Instituto Clima y Agua, INTA Castelar). El suelo está conformado por un 79% del complejo de series Su3, un suelo Argialbol típico, cuya capacidad de uso es un V_{ws} , y el 21% restante por un complejo HB1, de suelo Argiudol típico y cuya capacidad de uso es III_{ws} .

El establecimiento comercial está conformado por una superficie total de 396 hectáreas (ha), de las cuales 168 ha. constituyen la superficie destinada a las vacas en ordeño (VO). En las mismas se implantaron pasturas (63 %), promoción de raigrás (15 %), verdeo de avena (10 %) y soja de pastoreo (12 %). En el resto de la superficie se realiza la cría y recría de las terneras nacidas en el establecimiento, algunos cultivos agrícolas como el maíz y parte es superficie no agrícola. El rodeo en ordeño está conformado por 199 vacas Holando Argentino de peso vivo (PV) estimado en 550 kg, con una carga promedio en el establecimiento de 1,18 VO/ha. La producción diaria promedio es de 16 litros/VO.



Figura 2.1. Vista general de uno de los potreros del establecimiento. En el centro de la foto puede observarse el hilo eléctrico (boyero) utilizado para dividir las franjas de pastoreo. A la izquierda la pastura se encuentra en situación de pre-pastoreo y a la derecha, el rodeo bajo ordeño en pastoreo. Fotografía: M. Kerekes.

El manejo tradicional de las pasturas y verdeos del establecimiento se realiza mediante pastoreo rotativo en franjas diarias. El rodeo se ordeña dos veces por día y, habitualmente, se ofrece una franja de pastoreo a la mañana y otra franja a la tarde. Dicho manejo se realiza durante todo el año. Se utilizan suplementos como afrechillo de trigo y grano de maíz ofrecidos en comederos o en el potrero, y rollos de pastura.

2.2.2. Tratamientos y diseño experimental

Para realizar el trabajo se seleccionó un potrero homogéneo y representativo del establecimiento con una superficie de 10 ha., conformado por una pastura de trébol blanco (*Trifolium repens* L.), trébol rojo (*Trifolium pratense* L.) y cebadilla criolla (*Bromus catharticus* L.). Se asumió que en la pastura de referencia se realizó un manejo adecuado durante el período bajo estudio. Esto implica básicamente que no hubo situaciones de sobre o sub-pastoreo que pudieran alterar el análisis de los datos.

2.2.3. Mediciones

Entre septiembre 2007 y octubre de 2008 tres observadores recorrieron el potrero de referencia. Las mediciones se realizaron con un intervalo promedio de 22 días, el cual varió entre un mínimo de 14 días y un máximo de 33 días. Se contabilizaron 18 fechas de muestreo para el período bajo estudio. Las unidades de muestreo estaban constituidas por marcos de hierro cuadrados de 0,30 m x 0,30 m. En cada unidad de muestreo se efectuaron estimaciones y mediciones directas e indirectas de la biomasa aérea. En cada fecha de muestreo se midieron 12 unidades de muestreo, las cuales se ubicaron en forma aleatoria dentro de una parcela fija (aproximadamente, 50 m x 200 m) del potrero de referencia. Las unidades de muestreo fueron independientes entre las fechas de muestreo. Debido a que el ensayo se realizó en un tambo comercial, entre fechas de muestreo consecutivas el potrero de referencia podía estar o no bajo pastoreo, según el esquema de rotación del establecimiento. Para algunas fechas de muestreo consecutivas, cuando se volvían a realizar las mediciones y estimaciones el último pastoreo había ocurrido entre 1 y 18 días antes (período de rebrote). Para otras fechas de muestreo consecutivas, no hubo pastoreo. En cada unidad de muestreo se utilizaron cuatro métodos de medición que se describen a continuación, y se realizaron en el siguiente orden:

Unidades Visuales (UV)

Cada observador adjudicó unidades visuales (UV) a cada unidad de muestreo. Estas UV valoraron la cantidad de biomasa aérea existente en cada unidad de muestreo, con valores que estuvieron en un rango entre 1 y 15. Previamente se realizó una calibración inicial. Para ello se definió en un viaje a campo, antes de comenzar la toma de datos, que cada UV representaba 300 kilogramos de materia seca por hectárea (kg MS/ha). Para eso se estimó visualmente la cantidad de biomasa presente en diferentes situaciones de pastoreo, y se las comparó con los valores de corte, construyendo una escala de referencia. Para el análisis de los datos se utilizó el valor promedio de los tres observadores.

Altura del canopeo (A)

Se midió la altura del canopeo (A) con una regla graduada, tomando la altura de las hojas verdes completamente extendidas más altas. Se realizaron mediciones de A: una en cada vértice de cada unidad de muestreo y una en el centro del mismo. Para el análisis de los datos se utilizó el promedio de las cinco mediciones por unidad de muestreo.

Altura comprimida (AC)

Se registró la altura comprimida (AC) de la biomasa aérea presente en cada sitio con un pasturómetro (Ashgrove pastoral products, RD 10, Palmerston North, Nueva Zelanda 2004). Se realizó una única medición de AC por unidad de muestreo, haciendo coincidir el centro del pasturómetro con el punto central de cada unidad.

Producción de biomasa aérea

El método directo utilizado fue el de cortes de biomasa. Una vez tomadas todas las mediciones en cada unidad de muestreo, se cortó la biomasa aérea al ras del suelo con una tijera eléctrica (Gardena®), todo el material se recolectó en bolsas plásticas y se llevó al laboratorio para su separación en fracciones (verde y senescente). Luego se determinó el peso seco en estufa (60º C) hasta peso constante, aproximadamente unas 48 hs. En el Cuadro 2.1 se muestran los valores de biomasa obtenidos con el método de cortes.

Cuadro 2.1. Biomasa aérea total y verde para cada estación del período bajo estudio. D.E.= Desvío estándar. E.E.= Error estándar. CV= Coeficiente de variación. Letras mayúsculas y minúsculas distintas indican diferencias significativas dentro de cada estación y entre estaciones, respectivamente ($p < 0,05$). Primavera = Septiembre, Octubre, Noviembre y Diciembre. Verano = Enero, Febrero y Marzo. Otoño = Abril, Mayo y Junio. Invierno = Julio, Agosto y Septiembre.

Estación	Biomasa	n	Media (kg MS/ha)	D.E. (kg MS/ha)	E.E. (kg MS/ha)	CV (%)
Primavera	Total	60	1875 A a	777	100	41
	Verde	60	1354 B	645	83	48
Verano	Total	42	1877 A a	930	143	50
	Verde	42	1236 B	798	123	65
Otoño	Total	48	1495 A b	911	131	61
	Verde	48	1005 B	760	110	76
Invierno	Total	48	914 A c	508	73	56
	Verde	48	611 B	388	56	63

2.2.4. Análisis de datos

Se realizaron regresiones lineales entre datos apareados para cada uno de los métodos indirectos (estimación visual, pasturómetro y regla graduada) y el método directo (peso seco de la biomasa verde y biomasa total). Se generaron ecuaciones de calibración para cada una de las fechas de muestreo. Posteriormente, se agruparon los datos por estación y se calculó la regresión lineal para cada una de las estaciones. Finalmente, se agruparon los datos a escala anual y se calculó una sola regresión lineal para el período de estudio, y para cada método. Los datos fueron analizados mediante regresión lineal simple utilizando el programa informático InfoStat (Versión profesional, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, 2012). El ajuste de los métodos indirectos con el método directo se evaluó a través de los coeficientes de determinación (R^2) de dichas regresiones, que representa la proporción de variabilidad observada en el método directo (de cortes) que es explicada con el método indirecto (regla, visual o pasturómetro).

2.3. RESULTADOS

2.3.1. Biomasa total anual por método indirecto

Para todo el período bajo estudio, los métodos de estimación indirectos tuvieron coeficientes de determinación (R^2) mayores a 0,50. Los R^2 fueron mayores para el pasturómetro y la regla graduada, respecto a la estimación visual (Figura 2.2). En este último método, el ajuste fue mayor cuando se consideró la biomasa aérea verde en vez de la biomasa aérea total ($R^2=0,63$ y $R^2=0,57$, respectivamente; ver Apéndice – Figura 1).

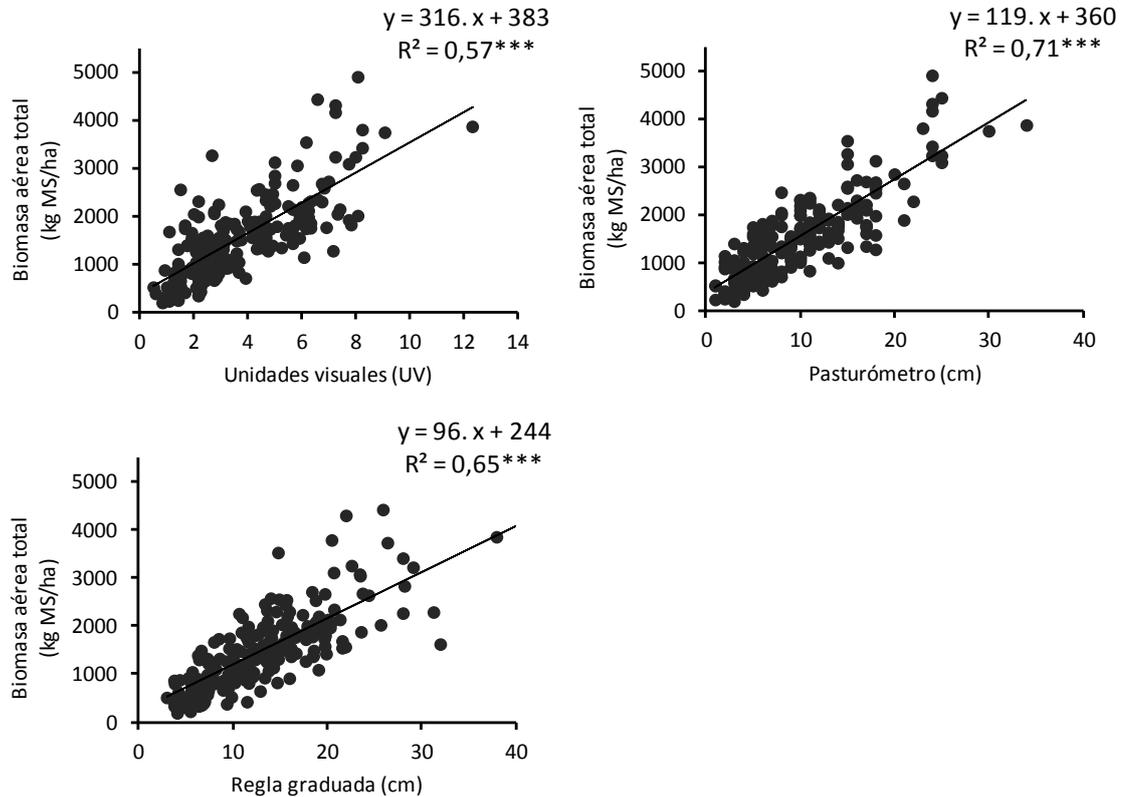


Figura 2.2. Calibraciones para todo el período bajo estudio (un año, $n=198$) para biomasa aérea total y cada uno de los métodos indirectos. Cada punto representa la relación entre la biomasa observada obtenida por corte y la biomasa estimada por el método indirecto, para cada unidad de muestreo ($n=12$) y para cada fecha de muestreo ($n=17$) (con excepción de una fecha de muestreo donde $n=6$).

Solo el 16 % de la variabilidad en la biomasa estimada por el método de estimación visual fue explicada por la proporción de biomasa verde de las muestras obtenidas por corte. Sin embargo, se observó un aumento en la variabilidad de las observaciones con el aumento en la proporción de biomasa verde (Figura 2.3).

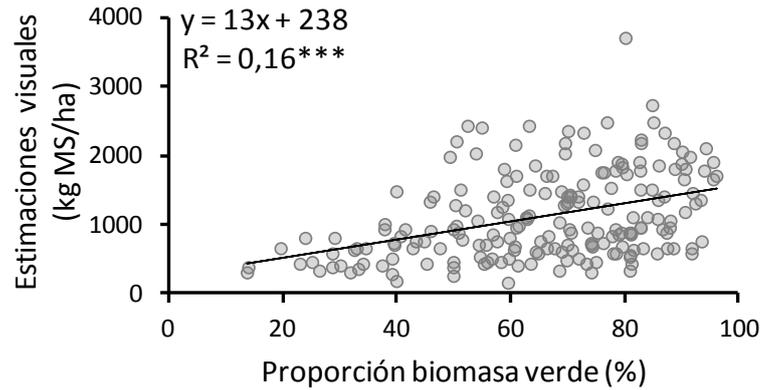


Figura 2.3. Estimaciones visuales en función de la proporción de biomasa verde, para todo el período bajo estudio (un año, $n=198$). Cada círculo representa la relación entre la proporción de biomasa verde de las muestras obtenidas por corte y la biomasa estimada por estimación visual, para cada unidad de muestreo ($n=12$) y para cada fecha de muestreo ($n=17$) (con excepción de una fecha de muestreo donde $n=6$).

2.3.2. Biomasa total por estación y por método

El método de estimación visual tuvo valores de R^2 mayores a 0,50 para todas las estaciones, a excepción del verano ($R^2=0,34$). El método del pasturómetro tuvo valores de R^2 mayores a 0,60 para todas las estaciones, a excepción del invierno ($R^2=0,43$). El método de la regla graduada tuvo valores de R^2 menores a 0,50 en primavera e invierno, y valores mayores a 0,50 en verano y otoño (Figura 2.4). En general, la estación en la cual los tres métodos presentaron altos ajustes con el método de cortes fue el otoño (R^2 mayores a 0,70). En el método de estimación visual la ordenada al origen fue variable, encontrándose el mayor valor en el verano. En el caso del pasturómetro, la ordenada al origen fue menos variable, encontrándose el mayor valor en la primavera. El método de la regla graduada también presentó valores de ordenada al origen variables, encontrándose el mayor valor en la primavera. Las calibraciones para cada método indirecto y estación para la biomasa aérea verde pueden verse en detalle en la Figura 2 del Apéndice.

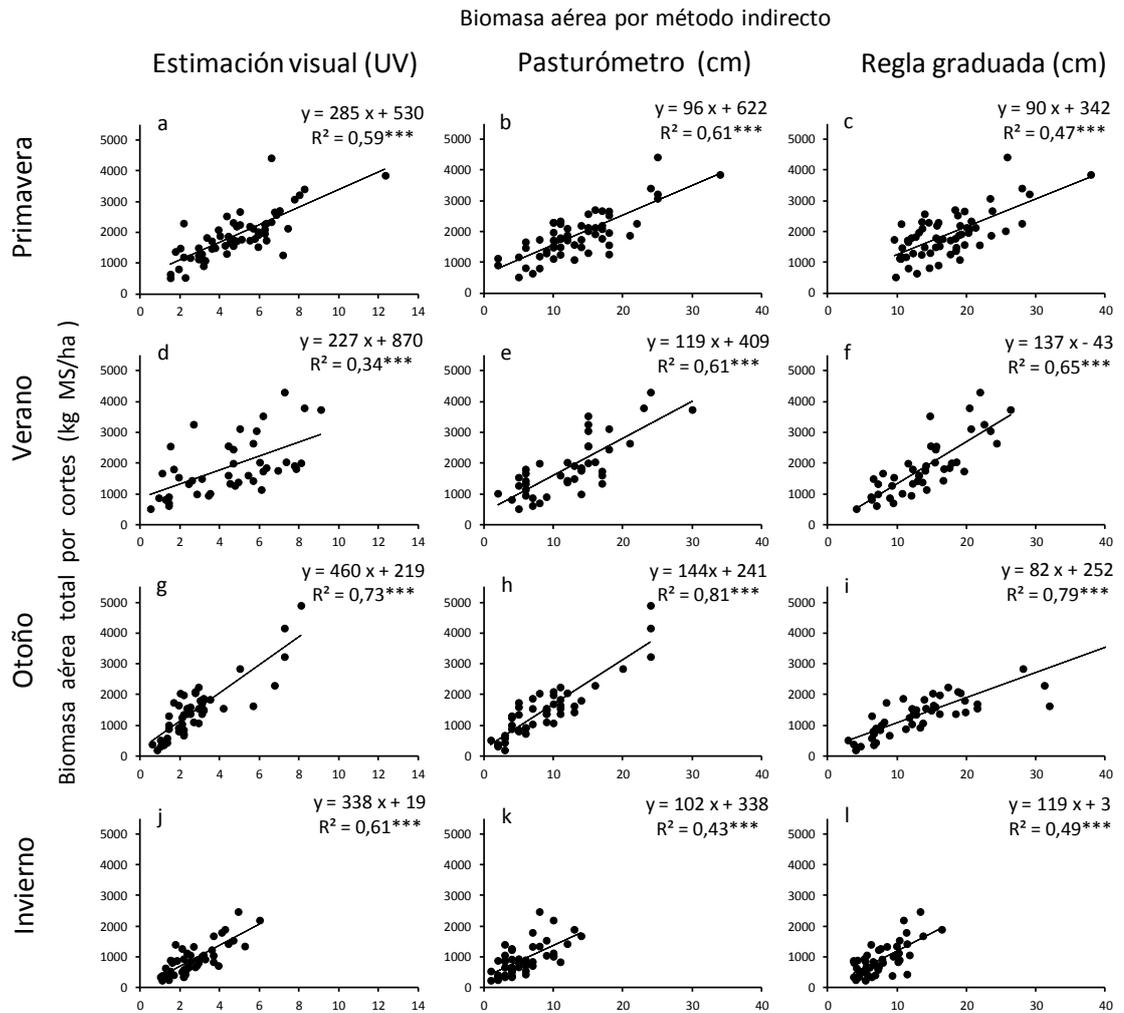


Figura 2.4. Calibraciones estacionales para biomasa aérea total y cada uno de los métodos indirectos. Cada punto representa la relación entre la biomasa obtenida por corte y la biomasa estimada por el método indirecto correspondiente (fecha de muestreo x réplicas). Los valores de n son 60, 42, 48 y 48 para primavera, verano, otoño e invierno, respectivamente. En las columnas se observan los métodos indirectos; en las filas se observan las estaciones.

Durante el otoño se hallaron algunos valores de los datos que se agruparon en forma particular como pueden observarse en el extremo de la curva en los paneles g, h, i de la Figura 2.4. Dichos valores estuvieron vinculados a dos fechas de medición específicas (24/04 y 15/05) y fueron registrados por los tres métodos indirectos. Esto implica que durante esta estación la calibración de los métodos estuvo influenciada por algunas fechas de muestreo en particular. Los valores de biomasa aérea total por cortes fueron los más altos en otoño comparándolos entre estaciones. Además, observando las regresiones lineales de todo el período de estudio, los valores más altos de R² se hallaron en otoño.

2.4. DISCUSIÓN

Los métodos indirectos son buenos estimadores de la biomasa obtenida por cortes, tal como lo demuestran los valores de R² hallados. Al considerar las calibraciones a escala anual, todos los métodos tuvieron altos valores de R² (Figura 2.2). En el caso específico de la estimación visual, el ajuste fue mayor cuando se consideró la biomasa verde en lugar de la

biomasa total, aunque las diferencias fueron mínimas. El pasturómetro y la regla graduada tuvieron valores de R^2 mayores que la estimación visual, aunque las diferencias tampoco fueron importantes. Los resultados sugieren que a una escala anual los observadores tendieron a realizar la estimación visual observando la biomasa verde en vez de la biomasa total. Es importante tener en cuenta que la altura (A) de hojas extendidas considera la biomasa verde, mientras que las estimaciones de altura comprimida (AC) medidas con el pasturómetro involucran biomasa verde más biomasa muerta. Más allá de estas consideraciones, no existen grandes diferencias en los R^2 para las correlaciones al utilizar la biomasa verde o la biomasa total. Es probable que a una escala anual existan muchos factores que influyen en estos resultados, y que en la práctica pueden carecer de importancia.

Cuando se consideraron las ecuaciones estacionales, ninguno de los métodos tuvo valores altos de R^2 durante todo el año. Esto se puede observar tanto para el método de estimación visual como para el pasturómetro: en ambos, sólo en una estación el método tuvo valores de R^2 bajos (verano e invierno, respectivamente). En el caso de la regla graduada, en dos estaciones los valores de R^2 fueron menores a 0,50 (primavera e invierno) (Figura 2.4 y Apéndice-Figura 2). Es decir, que los métodos más precisos fueron la estimación visual y el pasturómetro. Adicionalmente, en la estimación visual los R^2 con biomasa total fueron mayores que con biomasa verde en otoño e invierno, pero menores en primavera y verano. En estas estaciones, los observadores tendieron a realizar una mejor calibración con la biomasa verde que con la biomasa total, probablemente asociado a la época de crecimiento activo de las pasturas. Estas diferencias no se encontraron con los otros métodos. Para las otras combinaciones de método-estación siempre los R^2 fueron mayores para biomasa total que para biomasa verde.

Las causas de las variaciones de las calibraciones entre estaciones podrían asociarse a factores como: la heterogeneidad de la pastura, la composición de especies, la densidad de plantas, los cambios fisiológicos estacionales y la selección realizada por los animales durante el pastoreo. Otros factores adicionales serían el manejo de la pastura y las condiciones climáticas, lo que ocasionaría que las ecuaciones de calibración no fueran aceptadas universalmente (Sanderson *et al.* 2001, Martin *et al.* 2005). Es probable que durante el desarrollo de este trabajo dichos factores hayan influenciado los resultados, aunque se destaca que no hubo variaciones en el manejo de las pasturas, ni tampoco grandes variaciones en precipitaciones ni temperaturas. También debe considerarse que en el método de corte el canopeo es vulnerable a variaciones debido a condiciones de los instrumentos de corte, tales como el grado de afilado de las cuchillas. Asimismo, el cambio de operarios durante el período de medición podría inducir a errores (Smit *et al.* 2005). Durante el transcurso de este trabajo la tijera eléctrica se limpió regularmente, y el operador de la tijera, excepto en muy pocos casos, siempre fue el mismo.

Por otra parte, casi todos los estudios indican que es necesaria la recalibración frecuente de los métodos indirectos (Piggot 1989, Sanderson *et al.* 2001), lo cual sería una limitante. Earle y MacGowan (1979), realizaron sus estudios sobre el pasturómetro Ellinbank (básicamente, el diseño modelo para el pasturómetro), y plantearon que se requirieron calibraciones separadas para diferentes tipos de pasturas y que las mediciones no fueron apropiadas para pasturas que variaron en la composición de especies (Sanderson *et al.* 2001). En Argentina, en estudios sobre pasturas del SE de la Pcia. de Bs. As. las diferencias observadas en las estaciones también fueron asociadas a la diferente estructura de la vegetación y los diferentes estadios fenológicos (Rubio *et al.* 2001). También deberían considerarse algunos factores vinculados a la selectividad realizada por los animales. Por ejemplo, las vacas tratan de evitar los parches con estiércol (Bosker *et al.* 2002) y no pastorean regularmente en horizontes (Wade *et al.* 1989 citado en Smit *et al.* 2005), lo que implica que los animales

pastorean en profundidad en algunos parches, mientras que otros parches permanecen intactos.

En el método de estimación visual, las distintas ordenadas al origen entre estaciones probablemente estén asociadas con la diferente valoración otorgada por los observadores al inicio de la estimación. Los cambios fenológicos de las diferentes especies de la pastura (proporción de material verde y senescente) condicionarían la estimación realizada, alterando la cantidad de biomasa observada. Esto coincide con lo encontrado por Rubio y colaboradores (2001). Una de las principales desventajas de la estimación visual es que las referencias de evaluación son mentales (Cangiano 2011). Los cambios entre estaciones podrían registrarse mejor si se utilizara, por ejemplo, un patrón con imágenes (por ejemplo, fotografías) de las situaciones que se encuentran con mayor frecuencia en las pasturas. La variación existente no reduce la capacidad de los métodos indirectos, sino que reflejan que es importante advertir que mejores estimaciones y mediciones se realizarían bajo condiciones lo más homogéneamente posibles. Sin embargo, bajo condiciones de campo esto no es posible muchas veces, con lo cual resulta sumamente importante disminuir al máximo el error de los operadores. Esto podría lograrse con protocolos de mediciones claros y sencillos de interpretar y utilizar.

Es importante destacar que en este trabajo los cortes de biomasa se realizaron a ras del suelo lo que da una idea de la biomasa total, pero que tiene poca aplicación como biomasa o forraje “disponible” para los animales. La biomasa disponible de una pastura podría variar según la época del año considerada, el tipo de animal utilizado en el sistema y la intensidad de pastoreo (Michell 1982). Por otra parte, si bien no se realizaron mediciones vinculadas al comportamiento ingestivo la pastura podría haber sido afectada por variables como la selectividad animal y la preferencia.

En este capítulo, se realizaron las calibraciones de tres métodos indirectos. En general, las calibraciones representaron buenas estimaciones de la biomasa aérea. Esto parece ser más claro a nivel anual que a nivel estacional, aunque es importante mencionar que debido a la cantidad de variables que afectan a la pastura carecería de sentido práctico realizar una sola calibración por año. Lo más adecuado para el manejo de las pasturas por parte del productor sería realizar calibraciones estacionales. No pudo hallarse un único método que sea buen estimador para todas las estaciones, lo cual puede representar una limitante para operar en sistemas pastoriles, de acuerdo a lo descrito por varios autores (L’Huiller y Thompson 1988, Sanderson *et al* 2001, Fernandes da Cunha 2002). Es probable que en la caso de la estimación visual el bajo coeficiente de determinación (R^2) obtenido en verano esté asociado a la cantidad de material senescente. En el caso del pasturómetro, es probable que el R^2 del invierno esté asociado a la cantidad y calidad de material presente en esta época. En ambos casos, y para futuros ensayos, se deberían medir otras variables adicionales que pueden estar alterando las estimaciones y mediciones.

La combinación de la estimación visual y el pasturómetro ha sido mencionado previamente (Bryan *et al.* 2001); el uso conjunto de ambos métodos contribuiría a aumentar la confiabilidad de los datos obtenidos y a reducir el tiempo involucrado en las estimaciones y mediciones a campo. Este primer estudio aportó información novedosa para generar ecuaciones de calibración confiables para pasturas mixtas, si bien se destaca que se necesitan calibraciones localizadas según el método que se utilice (Cangiano 1996, Machado *et al.* 2003).

2.5. BIBLIOGRAFÍA

- AgResearch, 2012. Pasture quality: visual assessment. Beef + Lamb New Zealand. 14 pp.
- Assuero, S.G.; Escuder, C.J. y Norbis, H. 1989. Comparación de dos metodologías para estimar la disponibilidad de forraje en parcelas pastoreadas. *Revista Argentina de Producción Animal*, 9 (2): 115-119.
- Barrett, P.D. y Dale, A.J. 2005. Assessment of rising plate meter calibration on Northern Ireland dairy farms. *Irish Grassland and Animal Production Association*, p 113.
- Bisio, A.; Larripa, M.; Galli, J. y Cangiano, C. 2001. Comparación de metodologías para estimar fitomasa aérea en pasturas cultivadas. *Revista Argentina de Producción Animal*, 21 (1): 101-103.
- Bosker, T.; Hoekstra, N.J. y Lantinga, E.A. 2002. The influence of feeding strategy on growth and rejection of herbage around dung pats and their decomposition. *The Journal of Agricultural Science*, 139: 213-221.
- Bryan, W.B.; Prigge, E.C.; Nestor, E.L.; Gekara, O.J. y Schettini, M.A. 2001. Sward height; visual estimate compared with plate meter height. *Proceedings of the XIX International Grassland Congress*. 11-21 February 2001. San Pablo, Brasil. 1044-1045.
- Burgueño, J. 1997. Evaluación de un medidor de materia seca de forraje por capacitancia. III Calibración. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 5 (Supl. 1): 22-24.
- Cangiano, C.A. y Brizuela, M. Cómo evaluar la pastura, pp 237-258, En: Producción animal en pastoreo. 2011. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria Balcarce, Área de Producción Animal. Balcarce, Buenos Aires, Argentina. 516 pp.
- Cangiano, C.A. y Pece, M.A. 2005. Acumulación de biomasa aérea en rebrotes de alfalfa en Balcarce. *Revista Argentina de Producción Animal*, 25:39-52.
- Cangiano, C.A. (editor) Métodos de medición de la fitomasa aérea, pp. 117-128, En: Producción animal en pastoreo. 1996. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria Balcarce, Área de Producción Animal. Balcarce, Buenos Aires, Argentina. 144 pp.
- Danelón, J.L.; Dapunte, C.G.; Jaurena, G.; Cantet, R. y Saucedo, M.C. 2001. Eficiencia de la capacitancia y altura de canopeo comprimido (con disco) para estimar biomasa forrajera. *Revista Facultad de Agronomía*, 21 (3): 213-219.
- Demagnet, R. y Canseco, C. 2006. Comparación de métodos indirectos de estimación de la disponibilidad de forraje en praderas permanentes del sur de Chile. XXXI Reunión Anual de la Sociedad Chilena de Producción Animal. Sepúlveda, N. y Soto, P. (Ed.) pp: 9-10. Temuco, Chile.
- Earle, D. F. y McGowan, A. A. 1979. Evaluation and calibration of an automated rising plate meter for estimating dry matter yield of pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, 19: 337-343.
- Farinatti, L.H.E.; Gomes Da Rocha, M.; Poli, C.H.C.; Bica, G. y Montagner, D. 2000. Comparação da determinação de forragem em uma pastagem de azéem por diferentes métodos de avaliação. XVIII Reuniao Grupo Campos. Dinâmica de vegetação em ecossistemas pastoris. pp 137-138. Guarapuava, Paraná, Brasil.
- Fernandes da Cunha, W. 2002. Métodos indiretos para estimativa de massa de forragem em pastagens de *Cynodon spp.* Tesis de Maestría. Dissertação (mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de Sao Paulo. Piracicaba, Sao Paulo, Brasil. 58 p.: il.

- Fernández, H.H.; Chiapa, L. y Tiberio, D. 2002. Pasturómetro electrónico mecánico Balcarce (PemBalc) para estimar la cantidad de materia seca en pasturas. *Revista Argentina de Producción Animal*, 22 (1): 339.
- Fernández, H.H.; Iturrioz, J. y Guaita, M.S. 2003. Estimación de la fitomasa aérea: comparación de dos pasturómetros. *Revista Argentina de Producción Animal*, 23 (1): 209.
- Fernández, H.H. 2004. Estimación de la disponibilidad de pasto. Publicación ocasional. Área de Producción Animal, Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Balcarce, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Argentina.
- Ferraro, F.P.; Nave, R.L.G.; Sulc, R.M. y Barker, D.J. 2012. Seasonal variation in the rising plate meter calibration for forage mass. *Agronomy Journal*, 104: 1-6.
- Fricke, T.; Richter, F. y Wachendorf, M. 2011. Assessment of forage mass from grasslands swards by height measurement using an ultrasonic sensor. *Computers and Electronics in Agriculture*, 79: 142-152.
- Fulkerson, W.J. y Slack, K. 1993. Estimating mass of temperate and tropical pastures in the subtropics. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 33: 865-869.
- García, S.C.; Clark, C.E.F.; Kerrish, K.; Islam, M.R.; Fariña, S.R. y Evans, J. 2013. Gaps and variability in pasture utilisation in Australian pasture-based dairy systems. *Proceedings of the 22nd International Grassland Congress*. Sydney, Australia.
- Gherardi, S.G.; Anderton, L.; Sneddon, J.; Oldham, G. y Mata G. 2005. Application of satellite-derived pasture predictions improve the profitability of Australian sheep producers. XX International Grassland Congress: Offered papers. F.P. O'Mara (ed.). Wageningen Academic Publishers, 975 páginas.
- Golluscio, R.A.; Roset, P. A.; Sala, O.E. y Paruelo, J. M. 1994. Modelos en ecología. *Ecología Austral*, 4:123-132.
- Griggs, T.C. y Pack, K. 2004. Guidelines for visual assessment of herbage mass in pastures. AG/Forage & Pasture. Utah State University, Cooperative Extension Service.
- Guaita, M.S.; Fernández, H.H.; Gagliostro, G.A. y Cendoya, M.G. 2000. Calibración de un pasturómetro en una pastura de alfalfa. *Revista Argentina de Producción Animal*, 20 (1): 183.
- Hakl, J.; Hrevusova, Z.; Hejcman, M. y Fuksa, P. 2012. The use of a rising plate meter to evaluate lucerne (*Medicago sativa* L.) height as an important agronomic trait enabling yield estimation. *Grass and Forage Science*, 67:589-596.
- Hall, M. y Deak, A. 2007. Determining pasture yield. College of Agricultural Sciences, Agricultural Research and Cooperative Extension. The Pennsylvania State University.
- Hansson, L. 2011 a. Herbage dry matter of pastures estimated through measures of sward height. Master's thesis. Department of Large Animal Science, Faculty of Life Sciences, University of Copenhagen. 78 pp.
- Hansson, L. 2011 b. Validation of calibration equations developed for the C-Dax Pasture Meter under Danish conditions. Credit assignment. Department of Large Animal Science, Faculty of Life Sciences, University of Copenhagen. 26 pp.
- Intxusta Irisarri, J.; Brizuela, M.A.; Fernández, H.H.; Guaita, M.S. y Cid, M.S., 2007. Estimación de acumulación de forraje durante el rebrote de una pastura mediante un pasturómetro. *Revista Argentina de Producción Animal*, 27 (1): 130-131.
- Jenquip 2011. Filip's folding plate pasture meter [online]. Último ingreso: 10/09/2011. Disponible en: <http://www.jenquip.co.nz>.

- Johnson, D.H. 2001. Chapter 7: Validating and evaluating models. En: Modeling in natural resource management. Development, interpretation and application. Shenk, T.M. y Franklin, A.B. (editores). Island Press, Washington. 223 pp.
- King, W. McG.; Rennie, G.M.; Dalley, D.E.; Dynes, R.A. y Upsdell, M. P. 2010. Pasture mass estimation by the C-DAX Pasture Meter: Regional calibrations for New Zealand. *Proceeding of the 4^o Australasian Dairy Science Symposium*, 233-238.
- Legendre, P. 2012. Package "lmodel 2". Model II Regression. Departement de Sciences Biologiques, Universite de Montreal.
- L'Huillier, P.J. y Thompson, N.A. 1988. Estimation of herbage mass in ryegrass/white clover dairy pastures. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association* 49: 117-122.
- Lile, J.A.; Blackwell, M.B.; Thomson, N.A.; Penno, J.W.; Macdonald, K.A.; Nicholas, P.K.; Lancaster, J.A.S. y Coulter, M. 2001. Practical use of the rising plate meter (RPM) on New Zealand dairy farms. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, 63: 159-164.
- Lyons, N. 2007. Calibración de un nuevo método de estimación indirecta de disponibilidad forrajera en pasturas típicas de Australia. Tesis para acceder al título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires (UBA), Argentina.
- Machado, C.; Berger, H.; Morris, S.T.; Hodgson, J.; Copes, M. y Duhalde, J. 2003. Calibración estacional de mediciones de altura del canopeo con plato y con bastón de altura para estimar la biomasa forrajera de una pastura base alfalfa. *Revista Argentina de Producción Animal*, 23 (1): 214-215.
- Mannetje, L. 't 2000. Measuring biomass of grassland vegetation. In: Field and laboratory methods for grassland and animal production research (Eds. L. 't Mannetje y R. M. Jones). CAB International.
- Martin, R.C.; Astatkie, T.; Cooper, J.M. y Fredeen, A.H. 2005. A comparison of methods used to determine biomass on naturalized swards. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 191: 152-160.
- Meat & Livestock Australia 2004. Tips & Tools: Improving pasture use with the MLA pasture ruler [online]. Meat & Livestock Australia, Julio 2004. Último ingreso: 08/11/2012. Disponible en: www.mla.com.au.
- Michell, P. 1982. Value of a rising-plate meter for estimating herbage mass of grazed perennial ryegrass-white clover swards. *Grass and Forage Science*, 37: 81-87.
- O'Donovan, M.; Dillon, P.; Rath, M. y Stakelum, G. 2002b. A comparison of four methods of herbage mass estimation. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 41: 17-27.
- Oyhamburu, E.M.; Heguy, B. y Antonini, A. 2003. Estimación de biomasa total basada en cortes, apreciación visual y altura del canopeo, en promociones de raigrás. *Revista Argentina de Producción Animal*, 23 (1): 153-154.
- Paruelo, J.M.; Lauenroth, W. K.; Roset, P. A. 2000. Estimating aboveground plant biomass using a photographic technique. *Journal of Range Management*, 53 (2): 190-193.
- Petruzzi, H.J.; Stritzler, N.P.; Ferri, C.M.; Pagella, J.H. y Rabotnikof, C.M. 2005. Determinación de materia seca por métodos indirectos: utilización del horno a microondas. p. 8-11. Boletín de Divulgación Técnica Nº 88. INTA - Facultad Agronomía, Universidad Nacional de La Pampa (UNLPam), Anguil, Argentina.
- Piggot, G.J. 1989. A comparison of four methods for estimating herbage yield of temperate dairy pastures. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 32: 121-123

- Piñeiro, G.; Oesterheld, M. y Paruelo, J.M. 2001. Estimación de la productividad y la biomasa aérea de pasturas templadas de Sud América mediante imágenes satelitales. *Revista Argentina de Producción Animal*, 21 (1): 129-130.
- R Development Core Team. 2013. A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://R-project.org>.
- Rayburn, E.B. 1997. An acrylic pasture weight plate for estimating forage yield. West Virginia University Extension Service [online] Último ingreso: 16/12/2010 Disponible en: www.caf.wvu.edu/~forage/pastplate.htm
- Rayburn, E.B. y Rayburn, S.B. 1998. Estimating pasture mass in on-farm research trials. *Agronomy Journal*, 90: 238-241.
- Rinaldi, C.; Mattiauda, D. y Favre, E. 1997. Ajuste de un disco de resistencia para diferentes situaciones forrajeras. *Revista Argentina de Producción Animal*, 17 (1): 187-188.
- Rinaldi, C. y Sangenis, M. 2002. Empleo de un disco de resistencia para estimar disponibilidad y altura de pasturas. *Revista Argentina de Producción Animal*, 22 (1): 239-240.
- Rinaldi, C. 2004. Ajuste de un disco de resistencia para pasturas sembradas en basamento cristalino del Uruguay. *Revista Argentina de Producción Animal*, 24 (1): 244-245.
- Rinaldi, C. 2005. Disponibilidad de forraje, compresibilidad y altura de pasturas sembradas en basamento cristalino del Uruguay. *Revista Argentina de Producción Animal*, 25 (1): 229-230.
- Romera, A.J.; Beukes, P.; Clark, C.; Clark, D.; Levy, H. y Tait, A. 2010. Use of a pasture growth model to estimate herbage mass at a paddock scale and assist management on dairy farms. *Computers and Electronics in Agriculture*, 74 (1): 66-72.
- Rossi, J.L. y García, S.C. 2001. ¿Cuál es el “piso” de la producción pastoril? Publicación ocasional. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina. 4 pp.
- Rubio, R.; Dalla Valle, D.; Calafatich, G.; Inza, G. y Wade, M. 2001. Evaluación de biomasa y crecimiento de pasturas en el SE de la Pcia. de Bs. As. *Revista Argentina de Producción Animal*, 21 (1): 229-230.
- Rykiel, E. J. 1996. Testing ecological models: the meaning of validation. *Ecological Modelling*, 90: 229-244.
- Saavedra G., M.C. 2002. Comparación entre métodos de estimación de disponibilidad de materia seca en praderas naturales de la VI Región. Tesis de grado. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Chile. 123 pp.
- Sanderson, M. A.; Rotz, C. A.; Fultz, S. W. y Rayburn, E. B. 2001. Estimating forage mass with a commercial capacitance meter, rising plate meter, and pasture ruler. *Agronomy Journal*, 93: 1281-1286.
- Spada, M. del C. y Cangiano, C. A., 1992. Evaluación de un capacitómetro para estimar la fitomasa aérea. *Revista Argentina de Producción Animal*, 12 (1): 33-38.
- Smit, H.J.; Taweel, H.Z.; Tas, B.M.; Tamminga, S. y Elgersma, A. 2005. Comparison of techniques for estimating herbage intake of grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 88: 1827-1836.
- Stockdale, C.R. 1984. Evaluation of techniques for estimating the yield of irrigated pastures intensively grazed by dairy cows. 2. The rising plate meter. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, 24: 305-311.

- Villa, M.; Buratovich, O. y Nakamatsu, V. 2005. Estimación indirecta de la disponibilidad de forraje en mallines salinos intersebrados con Agropiro alargado. *Revista Argentina de Producción Animal*, 25 (1):173-174.
- Yule, I.; Fulkerson, B.; Lawrence, H. y Murray, R. 2006. Pasture measurement: The first step towards precision dairying. 10th Annual Symposium on Precision Agriculture Research & Application in Australasia.

Capítulo 3: VALIDACIÓN DE LAS ECUACIONES DE CALIBRACIÓN DE BIOMASA AÉREA

3.1. INTRODUCCIÓN

La validación es el paso fundamental para probar la utilidad de un modelo, en relación al objetivo propuesto, ya que permite evaluar la extrapolabilidad de sus resultados mediante la comparación entre éstos y datos independientes de los utilizados para desarrollarlo (Golluscio *et al.* 1994). La validación es una demostración que el modelo, dentro de su dominio de aplicabilidad, posee un rango satisfactorio de precisión consistente con la aplicación buscada o deseada del modelo (Rykiel 1996). Esto significa que el modelo disponible para una aplicación puede no sobrevivir a las pruebas de evaluación cuando es aplicado a otros usos (Johnson 2001). La validación de un modelo es un proceso continuo. Un modelo debería ser evaluado en forma temprana y con cierta frecuencia, no solo después que se ha vuelto operacional. Las pruebas de evaluación pueden ser aplicadas en diferentes estadios del modelo: diseño, implementación y durante la operación del mismo. Los modelos validados pueden no ser válidos para siempre, sin embargo, depende del sistema de interés. Los modelos deberían ser reevaluados y, si fuera necesario, revisados o recalibrados a medida que nueva información esté disponible o cambien las bases en las cuáles el modelo esté basado (Johnson 2001).

Es importante destacar que en el presente trabajo la validación tiene como objetivo evaluar la capacidad predictiva de las ecuaciones de calibración. No se han encontrado antecedentes de validación en la literatura en el caso de las ecuaciones de calibración para estimar biomasa aérea, excepto un estudio en sistemas lecheros donde se validaron con éxito las ecuaciones de calibración generadas por un sistema de sensores montados a un cuatriciclo (Hansson 2011).

En este capítulo la pregunta que se quiere responder es: ¿Cuán precisas son las predicciones realizadas por las ecuaciones de calibración encontradas en el Capítulo 2? En base a los antecedentes presentados se plantean los siguientes objetivos:

- a. Realizar la validación de las ecuaciones de calibración generadas previamente para una pastura templada típica en un sistema pastoril de producción de leche.
- b. Comparar la precisión de los diferentes métodos utilizados para estimar biomasa aérea.

3.2. METODOLOGÍA

3.2.1. Sitio de estudio

Remitirse a la sección 2.2.1. para la descripción del sitio de estudio y el diseño experimental.

3.2.2. Tratamiento y diseño experimental

En este trabajo el término precisión es usado para describir cuán cerca está la biomasa predicha de la biomasa observada y se expresa a través de la diferencia entre estas variables, denominada errores de estimación.

La validación se realizó a dos niveles de análisis. En el primer nivel de análisis, los datos se validaron a partir de ecuaciones de calibración estacionales: se utilizó una ecuación de calibración por estación. Cada estación estuvo conformada por 4 a 6 fechas de muestreo. A partir de cada estación se obtuvieron ecuaciones de calibración. Dentro de cada estación, para decidir si se utilizaba la primera o segunda ecuación de calibración, se realizó un análisis para evaluar la significancia de los modelos y sólo se utilizaron las ecuaciones significativas. A cada

una de esas ecuaciones se las denominó “ecuación de referencia” (Cuadro 3.1). Dichas decisiones se basaron en la intención de imitar la validación que realizaría un técnico en la práctica, esto es utilizando las ecuaciones de calibración en forma cronológica, y evitando ecuaciones con un coeficiente de determinación bajo, que resultarían poco confiables para sus estimaciones. Dentro de cada estación, se aplicó la ecuación de referencia elegida a los valores obtenidos por los métodos indirectos, y se obtuvieron nuevos valores de biomasa aérea para cada método (en kg MS/ha). La fecha de muestreo utilizada para generar la ecuación de referencia fue eliminada del conjunto de datos utilizado para la validación.

Cuadro 3.1. Estimadores de los parámetros de las ecuaciones de calibración utilizadas para validar los datos. En el caso de la primavera y el verano la ecuación utilizada fue la primera de la estación; en el caso del otoño e invierno la ecuación utilizada fue la segunda de la estación. Los valores de n= 60, 42, 48 y 48 para primavera, verano, otoño e invierno, respectivamente. Cada valor de n está conformado por la relación entre la biomasa obtenida por corte y la biomasa estimada por el método indirecto.

Estación	a	b	R ²	Valor p
<i>Estimación visual</i>				
Primavera	559	279	0,62	0,0024
Verano	345	430	0,66	0,0012
Otoño	899	343	0,74	0,0003
Invierno	-216	348	0,87	<0,0001
<i>Pasturómetro</i>				
Primavera	986	102	0,82	<0,0001
Verano	319	135	0,50	0,0104
Otoño	689	103	0,74	0,0003
Invierno	-115	187	0,76	0,0002
<i>Regla graduada</i>				
Primavera	282	134	0,46	0,0154
Verano	717	117	0,55	0,0058
Otoño	690	63	0,71	0,0006
Invierno	-1175	269	0,83	<0,0001

En el segundo nivel de análisis, se tomó la ecuación de calibración de referencia para primavera: se utilizó una sola ecuación para todo el período. Luego, se validaron los datos de cada fecha de muestreo, y para cada estación, al aplicar la ecuación de referencia. En este caso también se generaron nuevos valores de biomasa aérea (kg MS/ha).

3.2.3. Análisis de datos

Con los nuevos valores de biomasa aérea (kg MS/ha), obtenidos tras aplicar las ecuaciones de referencia, y los valores de biomasa obtenidos por el método de cortes, se calculó la diferencia para obtener los denominados “errores de estimación”. Luego, con el módulo de dichos valores, relativizado al valor de corte, se calculó para cada estación el valor promedio, el desvío estándar y el error estándar. Posteriormente se realizó un análisis de varianza (ANVA) de los errores de estimación. Se calcularon las regresiones lineales de modelo II entre los métodos indirectos (con los valores obtenidos por la validación) y los cortes de biomasa. Las regresiones de modelo II se utilizan cuando ambas variables de la ecuación de regresión son aleatorias (por ejemplo, no controladas por el investigador) como es el caso de las variables de este trabajo. Las regresiones lineales de modelo II se analizaron mediante la función *lmodel2* (Legendre 2012) del paquete estadístico R (R Development Core Team 2013). En las regresiones lineales generadas, para cada estación y método, se estimó gráficamente cuánto interceptó el intervalo de confianza (IC) estimado la recta 1:1. Dicha estimación provee

información acerca de la precisión de los métodos estudiados, ya que cuanto más haya interceptado el IC estimado la recta 1:1, más parecidos serán los valores estimados a los observados, y en consecuencia mayor será la precisión del método.

3.3. RESULTADOS

3.3.1. Primer nivel de análisis: Validación con una ecuación por estación

Al comparar los métodos indirectos, se encontró que la estimación visual tuvo la menor diferencia, en términos absolutos, con respecto al método de cortes para la primavera (21 %) y el invierno (38 %); dicha diferencia fue mayor para el otoño (76 %) y el verano (57 %) (Figura 3.1). El pasturómetro tuvo diferencias relativamente homogéneas con respecto al corte para todo el año (36 a 49 %). La regla graduada tuvo mayores variaciones entre estaciones y mayores diferencias con respecto al corte que el pasturómetro (52 a 70 %). Los mayores valores de error estándar se registraron en el otoño, acorde con lo observado en el Cuadro 3.1 para el método de cortes.

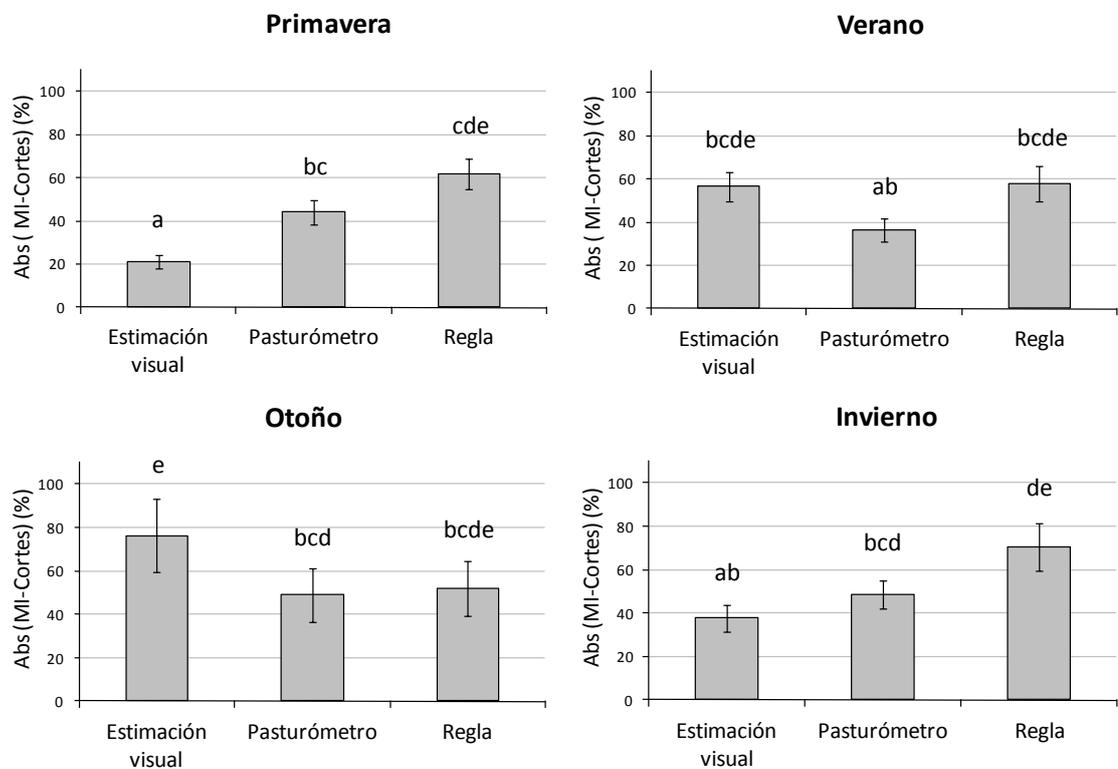


Figura 3.1. Diferencias entre los cortes de biomasa aérea total y los valores absolutos (Abs) de los métodos indirectos (MI), relativos al corte, para cada estación. La barra indica el error estándar. Se compararon las medias de todos los métodos indirectos en conjunto. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Al comparar las regresiones y los intervalos de confianza (IC) con la relación 1:1 puede observarse variabilidad en las respuestas, tanto para métodos como para estaciones (Figura 3.2). En la primavera, con el método de estimación visual los datos tendieron a distribuirse homogéneamente alrededor de la recta de ajuste, con la cual no es fácil identificar si hubo sobreestimación o subestimación; los otros métodos tendieron a sobrestimar, en términos generales (Figura 3.2 a, b, c). En el verano, la estimación visual tendió a subestimar por valores debajo de los 1.500 kg MS/ha, y a sobreestimar por encima de ese valor (Figura 3.2 d). En el caso del pasturómetro y de la regla graduada los datos siguieron un patrón similar que en el caso de la estimación visual; se encontró el punto de inflexión cercano a los 1.200 y 2.000 kg

MS/ha, respectivamente, aunque puede observarse una menor dispersión de los datos con respecto a la estimación visual (Figura 3.2 e, f). En el otoño, en general, se tendió a sobreestimar (Figura 3.2 g, h, i). En el invierno, la estimación visual tendió a la subestimación; en el pasturómetro los datos se distribuyeron en forma homogénea alrededor de la recta de ajuste; en la regla graduada debajo de los 1.000 kg MS/ha se tendió a subestimar, y por encima de ese valor se tendió a sobreestimar (Figura 3.2 j, k, l).

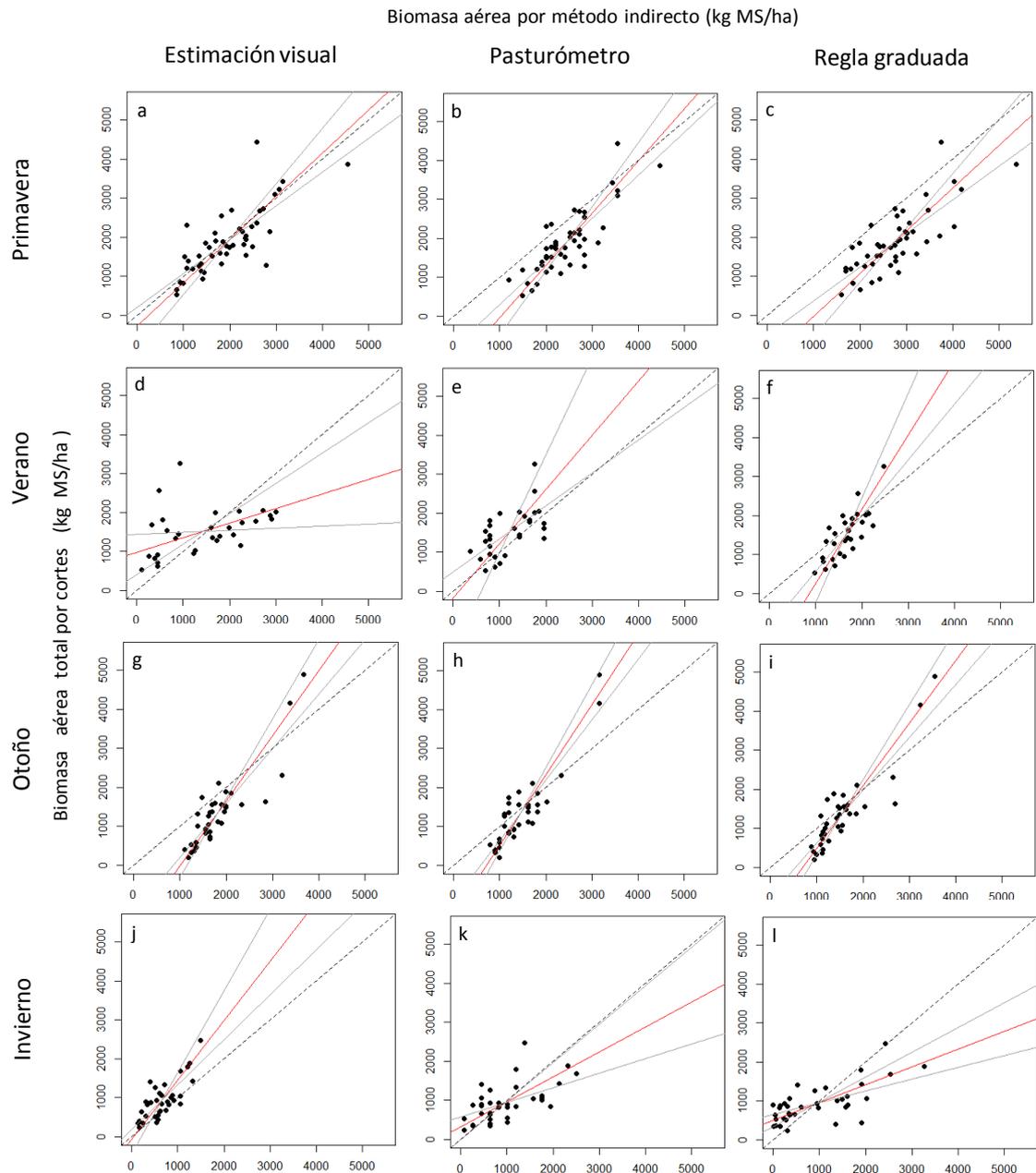


Figura 3.2. Regresiones lineales estacionales para cada uno de los métodos indirectos. Cada punto representa la relación entre la biomasa obtenida por corte y la biomasa estimada por el método indirecto correspondiente (fechas de muestreo x réplicas), una vez realizada la validación. Las líneas rojas representan la recta de regresión lineal. Las líneas grises representan el intervalo de confianza (95%). La línea discontinua representa a la relación 1:1. Los valores de n son 48, 30, 36 y 36 para primavera, verano, otoño e invierno, respectivamente. En las columnas se observan los métodos indirectos; en las filas se observan las estaciones.

La proporción de datos obtenidos por los métodos indirectos que fue interceptado por el IC fue la máxima para primavera (100 %), en el caso de la estimación visual, pero muchos menores para las otras estaciones (20 a 39 %). En el caso del pasturómetro, dicha proporción fue baja para todas las estaciones (8 a 41 %). El método de la regla graduada presentó una proporción de datos interceptados por la relación 1:1 mucho menores para primavera e invierno (2 a 12 %), y valores intermedios para el verano y el otoño (26 % en ambos casos) (Figura 3.3).

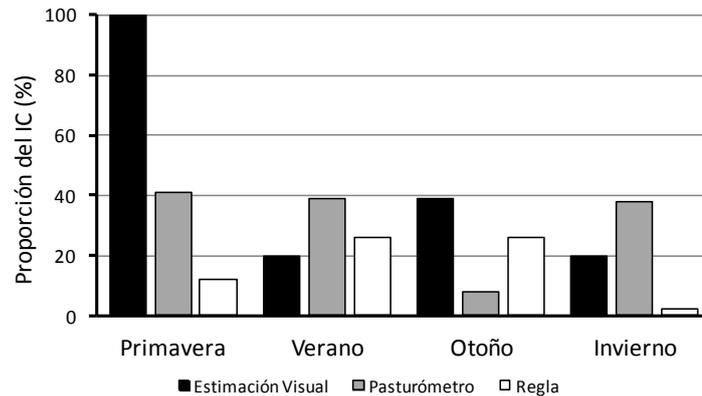


Figura 3.3. Proporción de datos interceptados por el intervalo de confianza (IC) considerando la relación 1:1, para cada estación y para cada método indirecto.

3.3.2. Segundo nivel de análisis: Validación con una ecuación para todo el período

Al comparar los métodos indirectos, se observó que la estimación visual tuvo la menor diferencia con respecto al método de cortes para primavera (21 %) y otoño (41 %), pero no así para verano (67 %) e invierno (103 %). La regla graduada tuvo la menor diferencia para verano (41 %) e invierno (47 %), pero mayores diferencias para primavera (62 %) y otoño (72 %). El pasturómetro alcanzó diferencias con respecto al método de cortes que variaron entre el 44 a 184 %. Los mayores valores de error estándar se registraron en otoño e invierno (Figura 3.4).

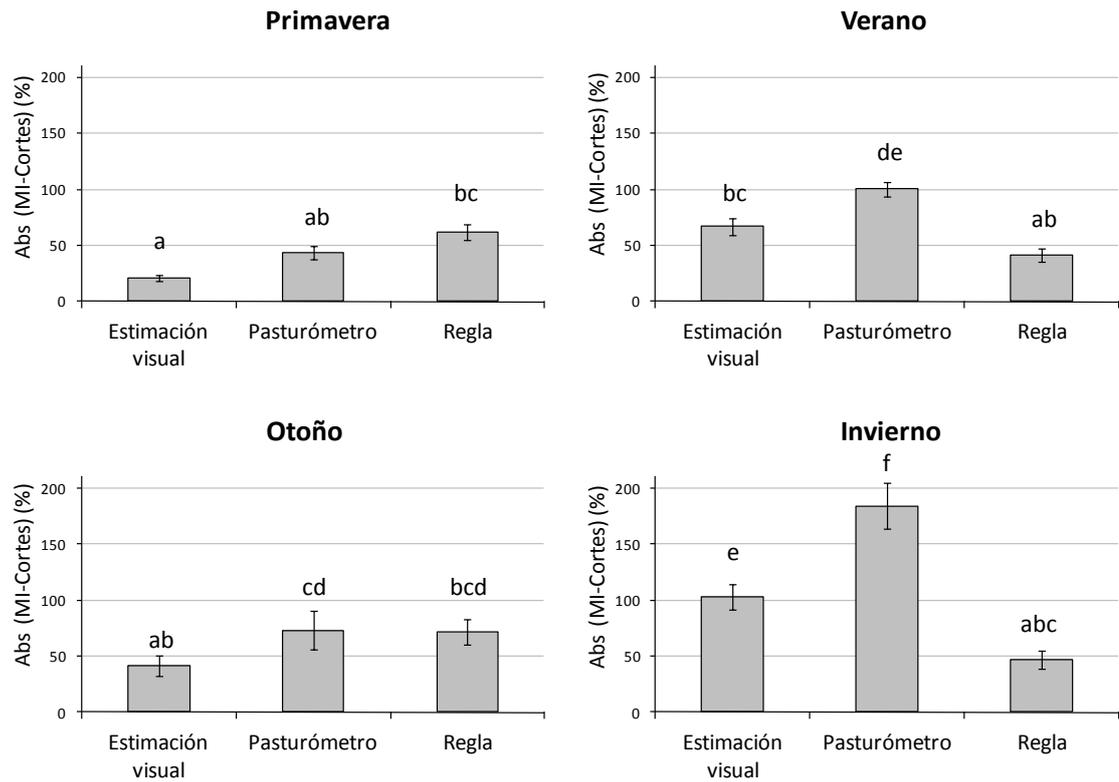


Figura 3.4. Diferencias entre los cortes de biomasa aérea total y los valores absolutos (Abs) de los métodos indirectos (MI), relativos al corte, por estación. La barra indica el error estándar. Se compararon las medias de todos los métodos indirectos en conjunto. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Al comparar las regresiones y los intervalos de confianza con la relación 1:1 puede observarse mucha más variabilidad en las respuestas, tanto para métodos como para estaciones, que en el primer nivel de análisis (Figura 3.5). Debido a la metodología utilizada, los valores para la primavera fueron los mismos que en el caso del primer nivel de análisis. En el verano, la estimación visual y el pasturómetro tendieron a subestimar durante todo el rango de biomasa considerado (Figura 3.5 d, e). En el caso de la regla graduada algunos valores se ajustaron a la función 1:1, aunque en términos generales este método tendió a sobreestimar (Figura 3.5 f). En el otoño, tanto la estimación visual como el pasturómetro tuvieron valores de biomasa (1.400 y 2.000 kg MS/ha, respectivamente) por debajo del cual se tendió a sobreestimar y por encima del mismo se tendió a subestimar (Figura 3.5 g, h). En general, la regla graduada tendió a sobreestimar para todo el rango de biomasa considerado (Figura 3.5 i). En el invierno, la estimación visual y el pasturómetro subestimaron la cantidad de biomasa que había realmente, mientras que la regla graduada tuvo un mejor ajuste. En el caso de la estimación visual, la proporción de datos obtenidos por los métodos indirectos que fue interceptado por el IC fue mayor para primavera y otoño (100 % y 15 %, respectivamente), pero prácticamente nulo para el resto de las estaciones. En el caso del pasturómetro, dicha proporción fue del 41 % para primavera pero nulo para el resto de las estaciones. Finalmente, el método de la regla graduada alcanzó valores altos solo en primavera e invierno (12 y 64 %, respectivamente) (Figura 3.6).

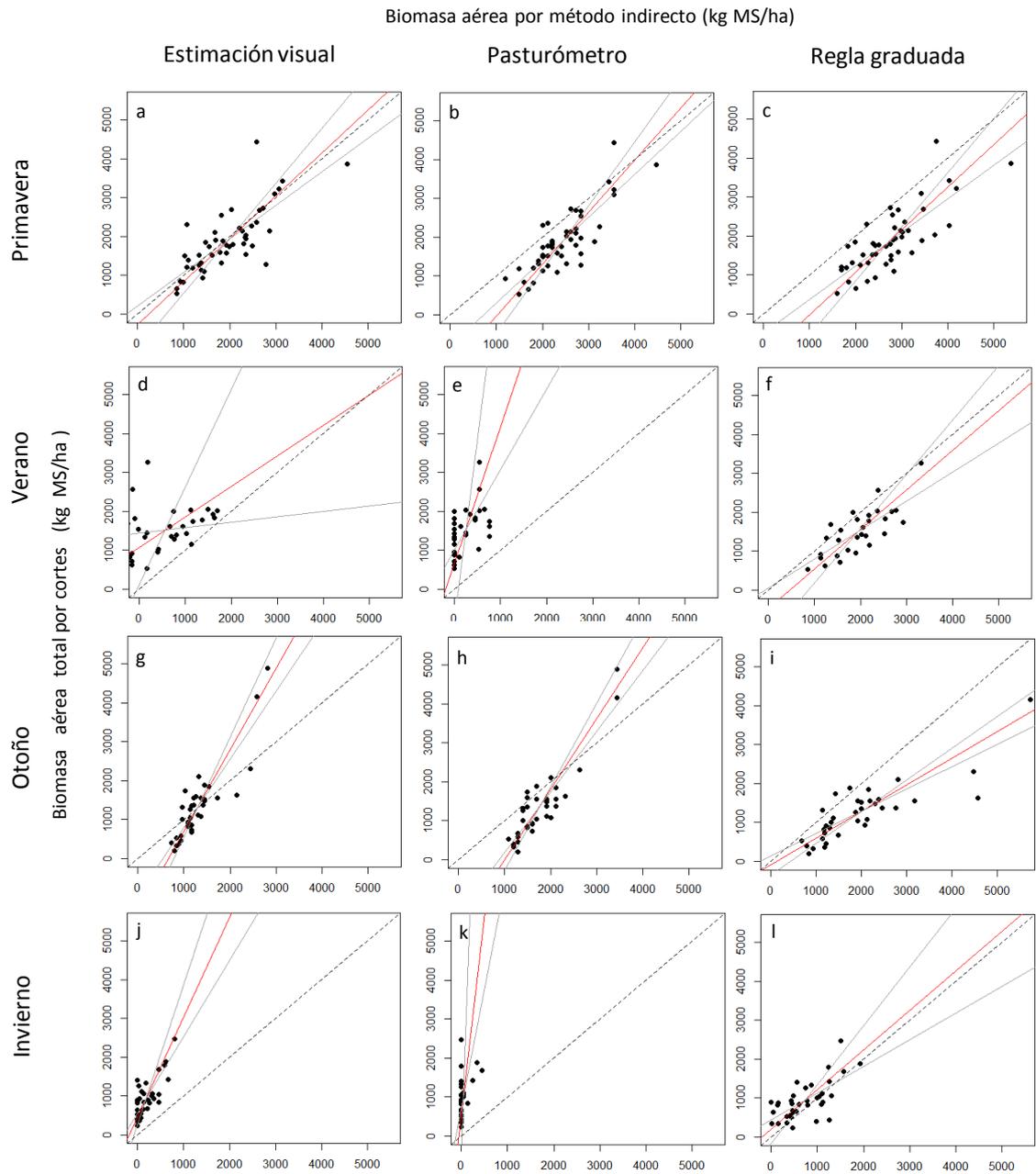


Figura 3.5. Regresiones lineales estacionales para cada uno de los métodos indirectos. Cada punto representa la relación entre la biomasa obtenida por corte y la biomasa estimada por el método indirecto correspondiente ((réplicas x fecha de muestreo)/fechas de muestreo), una vez realizada la validación. Las líneas rojas representan la recta de regresión lineal. Las líneas grises representan el intervalo de confianza (95%). La línea discontinua representa a la relación 1:1. Los valores de n son 48, 30, 36 y 36 para primavera, verano, otoño e invierno, respectivamente. En las columnas se observan los métodos indirectos; en las filas se observan las estaciones.

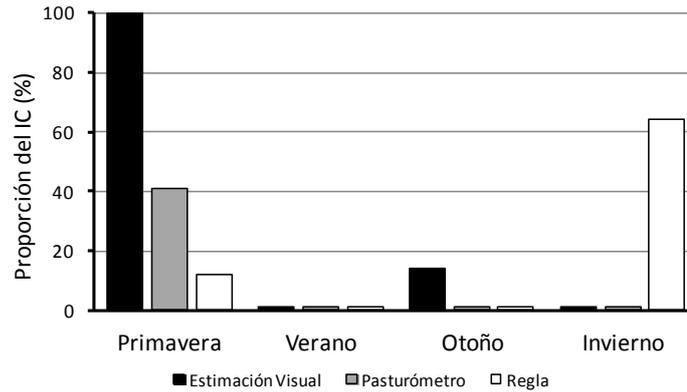


Figura 3.6. Proporción de datos interceptados por el intervalo de confianza (IC) considerando la relación 1:1, para cada estación y para cada método indirecto.

3.3.3. Biomasa verde y biomasa total

Las diferencias entre las unidades visuales (UV) y las biomases obtenidas por corte (denominadas “errores de estimación”) no estuvieron asociadas a la proporción de biomasa verde de la pastura. Es decir que la proporción de biomasa verde no generó un sesgo en el error de estimación (Figura 3.7 a). Un 13 % de la variabilidad en los errores de estimación es explicada por la biomasa aérea total (Figura 3.7 b).

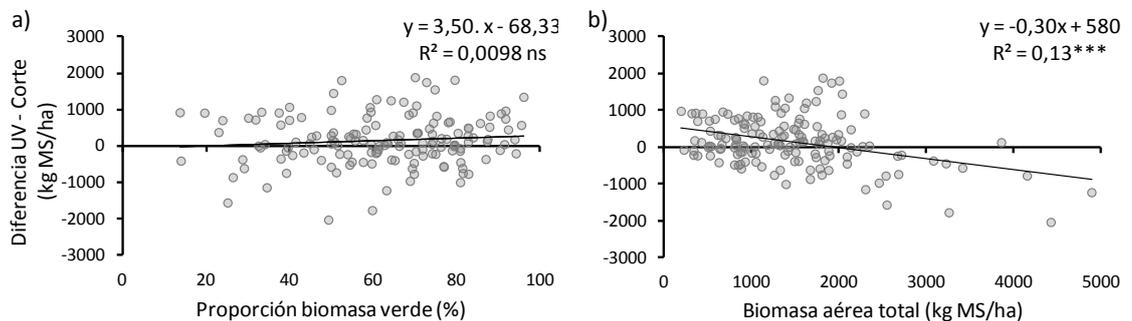


Figura 3.7: Diferencias entre las estimaciones visuales (UV) y las biomases obtenidas por corte (Corte) en función de a) proporción de biomasa verde, expresada en porcentaje, y b) biomasa aérea total, en kg MS/ha. El n= 150, para (réplicas x fecha de muestreo)/fechas de muestreo. ns= no significativo.

3.4. DISCUSIÓN

3.4.1. Primer nivel de análisis: Validación con una ecuación por estación

La estimación visual fue un método muy preciso en la primavera y el invierno, pero poco preciso en el verano y el otoño. En el primer caso, fue la combinación método-estación más precisa de todas, con errores de estimación muy bajos. En el caso del verano y el otoño, los errores de estimación fueron los más altos. El pasturómetro fue el método donde los errores de estimación fueron más homogéneos entre las estaciones. La regla graduada presentó errores de estimación mayores al pasturómetro para todas las estaciones del año (Figura 3.1). Estos resultados indican que el método con mayores errores de estimación fue la regla graduada, mientras que el pasturómetro tuvo menores errores de estimación que la primera. La estimación visual resultó muy precisa en primavera e invierno, pero para verano y otoño fue el método menos preciso, ya que para estas estaciones los errores de estimación

son similares y/o mayores que el pasturómetro y la regla graduada. Se especula que algunas variables podrían contribuir a la pérdida de precisión tales como la proporción de biomasa verde o la cantidad de biomasa estimada (ya que no es la misma entre estaciones). Por otra parte, los valores de error estándar fueron mayores en otoño respecto a las otras estaciones, y afectaron en igual magnitud a los tres métodos.

Analizando las regresiones de modelo II, se puede observar que la precisión del método interactuó con la estación del año considerada, ya que no hubo un mejor método que se diferencie claramente de otro sin tener en cuenta la estación (Figuras 3.2 y 3.3). La estimación visual fue un muy buen método para la primavera (Figura 3.2 a), pero en el resto del año tendió a sobreestimar o subestimar (Figura 3.2 d, g, j). El pasturómetro casi siempre tendió a sobreestimar (Figura 3.2 b, e, h), con excepción del invierno (Figura 3.2 k). La regla graduada también tendió a sobreestimar en casi todas las estaciones (Figura 3.2 c, f, i, l). Cuando se analizó la proporción de biomasa que es interceptada por la relación 1:1, el buen ajuste de la estimación visual en primavera coincide con los bajos errores de estimación obtenidos (Figura 3.3 y Figura 3.1). Para el resto de las estaciones la precisión de la estimación visual no fue alta, a lo que se suman los altos errores de estimación hallados. En el pasturómetro, si bien la proporción de datos interceptada fue baja, lo que indicaría también su baja precisión como método de estimación, los errores de estimación fueron intermedios (Figura 3.3 y Figura 3.1). La regla graduada fue el método menos preciso con errores de estimación altos. En términos generales, la estimación visual es un buen método de estimación en primavera e invierno, pero en otoño y verano su precisión es similar o peor a la del pasturómetro. Este último es un método con una precisión intermedia para primavera, verano e invierno y poco preciso en el otoño. La regla graduada fue poco precisa en todas las estaciones.

Es importante señalar que este nivel de análisis de validación fue realizado utilizando la primera o segunda ecuación de calibración significativa de cada estación, como ya fue aclarado en la sección 3.2.2. La decisión de utilizar esta metodología radica en que el usuario de las ecuaciones de calibración va a emplear la primera calibración significativa que obtenga, ya que esta le va a permitir confiar en las siguientes mediciones de la estación (nadie usaría una ecuación de calibración que de antemano sabe que no tuvo buen ajuste entre las variables). No se puede indagar demasiado sobre las causas por las cuales algunas ecuaciones de calibración no fueron significativas. Lo que sí se puede afirmar es que si en una determinada fecha de muestreo la ecuación no fue significativa para un método, la mayoría de las veces tampoco lo fue para los otros métodos.

3.4.2. Segundo nivel de análisis: Validación con una ecuación para todo el período

La estimación visual fue el método en el cual se obtuvieron los menores errores de estimación para primavera y otoño, pero mayores errores de estimación para verano e invierno lo cual implica no solo que no fue un buen método para estas dos últimas estaciones, sino que los valores de los errores de estimación fueron muy altos. El pasturómetro fue el método menos preciso, con errores de estimación superiores al 180 % para el invierno. La regla graduada se ubicó en valores intermedios entre ambos métodos, aunque es necesario destacar que en verano e invierno los errores de estimación fueron similares a los de la estimación visual para otoño (Figura 3.4).

Analizando las regresiones de modelo II, se puede observar que la precisión del método se asoció a la estación del año considerada, ya que no hubo un mejor método que se diferencie claramente de otro sin tener en cuenta la estación (Figuras 3.5 y 3.6). La estimación visual fue un muy buen método para la primavera (Figura 3.5 a), pero en las otras estaciones

tendió a sobrestimar o subestimar (Figura 3.5 d, g, j). El pasturómetro casi siempre tendió a subestimar (Figura 3.5 b, e, h, k). La regla graduada también tendió a sobreestimar en casi todas las estaciones (Figura 3.5 c, f, i, l). Cuando se analizó la proporción de biomasa que fue interceptada por la relación 1:1, el buen ajuste de la estimación visual en primavera y otoño coincidió con los bajos errores de estimación obtenidos, como era de esperar (Figura 3.4 y Figura 3.6). Para el resto de las estaciones la precisión de la estimación visual fue nula, a lo que se suman los altos errores de estimación hallados. En el pasturómetro, la proporción de datos interceptada fue baja para la primavera, pero fue nula para el resto de las estaciones; a esto se asocian los altos errores de estimación (Figura 3.4 y Figura 3.6). La regla graduada fue muy poco precisa, ya que la proporción de datos interceptada fue alta para el invierno y baja para la primavera, pero fue nula en el resto de las estaciones lo que no coincide necesariamente con los errores de estimación hallados. En términos generales, ninguno de los métodos fue muy preciso y esto implica que no hay evidencias para afirmar que utilizar una sola ecuación para todo el período bajo estudio sea una metodología exitosa. Sin embargo, este es un aspecto que debe analizarse con mucho cuidado, ya que en este trabajo solo se están analizando datos de un año. Es muy importante considerar la variabilidad interanual, tanto a nivel de producción de la pastura, a nivel climático así como otros factores involucrados.

3.4.3. Biomasa verde y biomasa total

Los errores de estimación se asociaron más a la cantidad de biomasa total que a la proporción de biomasa verde. Esto implica que las estimaciones realizadas mediante estimación visual no estuvieron asociadas con la proporción de biomasa verde, con lo cual es probable que los observadores tuvieran en cuenta otros atributos de la pastura al realizar sus estimaciones. Por otra parte, es poca la variabilidad en los errores de estimación que fue explicada por la cantidad de biomasa total.

En este capítulo, se realizó la validación con los datos del método de cortes. La validación con una ecuación por estación sugiere que el método más preciso es la estimación visual, seguido por el pasturómetro y, luego, por la regla graduada. La validación con una ecuación para todo el período sugiere que los métodos indirectos son poco precisos, y no sería conveniente adoptar el criterio de utilizar una sola ecuación de calibración para un ciclo anual, en el caso de pasturas. De acuerdo a Ferraro *et al.* (2012), es importante considerar que el pasturómetro debería ser calibrado al menos una vez al mes durante la estación de crecimiento para definir el patrón estacional y los cambios en las pendientes de las regresiones lineales.

Este segundo estudio es el primer trabajo en pasturas donde se estudió la validación de las ecuaciones de calibración y donde se destaca el valor que tienen las mismas para estimar la biomasa aérea. Los resultados de este trabajo pueden aplicarse a pasturas templadas compuestas por gramíneas tipo OIP (otoño-inverno-primaveral) y leguminosas tipo tréboles de cualquier sistema de producción que utilice el forraje como fuente de alimentación para los animales, ya sea en producción de leche o carne. No se sugiere extrapolar resultados a otras especies leguminosas como la alfalfa, ya que por la morfología propia de esta especie algunos de los métodos se encuentran limitados. En este contexto, entonces, es necesario realizar este tipo de estudios con otros recursos forrajeros típicos de la Argentina.

3.5. BIBLIOGRAFÍA

- Ferraro, F.P.; Nave, R.L.G.; Sulc, R.M. y Barker, D.J. 2012. Seasonal variation in the rising plate meter calibration for forage mass. *Agronomy Journal*, 104: 1-6.
- Golluscio, R. A.; Roset, P. A.; Sala, O.E. y Paruelo, J. M. 1994. Modelos en ecología. *Ecología Austral*, 4:123-132.
- Hansson, L. 2011. Validation of calibration equations developed for the C-Dax Pasture Meter under Danish conditions. Credit assignment. Department of Large Animal Science, Faculty of Life Sciences, University of Copenhagen. 26 pp.
- Johnson, D.H. 2001. Chapter 7: Validating and evaluating models. En: Modeling in natural resource management. Development, interpretation and application. Shenk, T.M. y Franklin, A.B. (editores). Island Press, Washington. 223 pp.
- Legendre, P. 2012. Package "lmodel 2". Model II Regression. Departement de Sciences Biologiques, Université de Montreal.
- Rykiel, E.J. 1996. Testing ecological models: the meaning of validation. *Ecological Modelling*, 90: 229-244.

Capítulo 4: DISCUSION GENERAL

4.1. ECUACIONES DE CALIBRACIÓN PARA ESTIMAR BIOMASA Y VALIDACIÓN DE LOS MODELOS

En este trabajo se compararon tres métodos de estimación indirecta de biomasa aérea y se estudió la precisión de los mismos para una pastura templada típica de Argentina. Inicialmente se generaron ecuaciones de calibración para cada método a distintas escalas temporales (Capítulo 2). En esta primera parte, se observó que los métodos indirectos fueron buenos estimadores de la biomasa aérea obtenida por cortes, tanto a escala anual como a escala estacional. En algunos casos, la precisión de la calibración del método estuvo afectada por la estación considerada, es decir, existió una interacción de los métodos con la fecha de calibración. A su vez, se realizó la validación de los modelos a dos niveles de análisis imitando las estrategias que tomaría un técnico de campo: calibrar en primavera o calibrar en todas las estaciones (Capítulo 3). La validación con una ecuación por estación sugiere que el método más preciso fue la estimación visual. En cambio, la validación con una ecuación para todo el período sugiere que todos los métodos fueron poco precisos.

Como pudo observarse en la revisión bibliográfica, en Argentina solo se hallaron dos trabajos que exploraron los métodos utilizados en este trabajo. Uno de ellos se realizó en promociones de raigrás, un recurso utilizado habitualmente en los tambos pero muy diferente a una pastura mixta como la evaluada en este trabajo por diversas características (por ejemplo, estructura del canopeo, época de crecimiento y calidad). En el otro trabajo se estudiaron los métodos en una pastura mixta, en una pastura de leguminosa pura y en una pastura de gramínea pura. Como se mencionó en el Capítulo 1, no pudo establecerse si un método fue mejor que otro. En el presente trabajo se estudió una pastura mixta y se encontró que sí hubo diferencias entre los métodos empleados. En este contexto, sería necesario evaluar diferentes tipos de pasturas en estudios de largo plazo (por ejemplo, a lo largo de la vida útil de una pastura), de modo que sea considerada la variación climática interanual, y realizar las validaciones. Asimismo, sería importante que las pasturas empleadas en estos estudios sean representativas de las diferentes cuencas lecheras o áreas específicas de producción. Es de esperar que diferencias regionales en las estimaciones de biomasa confundan a productores, asesores y científicos, con lo cual es realmente necesario profundizar la investigación en la temática. Un proyecto a nivel nacional con que considera las variaciones regionales se está desarrollando y ejecutando en Nueva Zelanda. El proyecto se denomina PasturePlan™ y se utiliza en sistemas de producción de carne y lana (Clarke-Hill y Fraser, 2007). El mismo podría tomarse como modelo a desarrollar a futuro para sistemas lecheros.

Por otra parte, la validación de los modelos utilizados contribuye sustancialmente a comprender mejor las relaciones entre las ecuaciones de calibración y los datos reales. Adicionalmente, estudios de modelización contribuirían significativamente al estudio de estimaciones de biomasa, crecimiento y utilización de pasturas, y es de esperar que a futuro aparezcan nuevas herramientas para ayudar a los productores en la toma de decisiones (Webby 2002). Un ejemplo ya mencionado en este trabajo es el modelo de simulación llamado PGSUS, el cual está siendo desarrollado y evaluado a campo con productores lecheros en Nueva Zelanda (Romera *et al.* 2013). Asimismo, en Australia el modelo APSIM (por sus siglas en inglés de Agricultural Production Systems Simulator) está siendo evaluado con productores lecheros del sudeste de ese país (Pembleton *et al.* 2013).

Algunos de los métodos estudiados en este trabajo, como la estimación visual y el pasturómetro, se presentan como promisorios. El uso de estos métodos permitiría realizar estimaciones de biomasa aérea en forma relativamente precisa y práctica, lo que a su vez permitiría calcular la tasa de crecimiento de los recursos forrajeros y el consumo de forraje. Estas variables son de mucha importancia, ya que a partir de las mismas se pueden identificar rápidamente períodos de excesos y déficits de forraje, lo que a su vez permitiría una mejor planificación y utilización del forraje. Es necesario que estos métodos puedan ser difundidos entre los productores lecheros, ya que si bien existe una gran diversidad de sistemas de producción de leche en la Argentina (Chimicz y Gambuzzi 2007), la gran mayoría de ellos utilizan forrajes (pasturas, verdes de invierno y verano, y forrajes conservados) en alguna proporción para la alimentación de los animales. Para la difusión de estos métodos quizá sea necesaria la existencia de programas de extensión en la temática conformada por especialistas a nivel institucional.

En los sistemas pastoriles el forraje es uno de los recursos más económicos en comparación con los alimentos concentrados (White *et al.* 2002, Bretschneider y Salado 2010). En Argentina, es necesario mejorar la utilización de las pasturas a través de mediciones y estimaciones de biomasa aérea ya que los sistemas lecheros se enfrentan con un escenario de alta competitividad frente a la expansión de la agricultura (Castignani *et al.* 2011, Viglizzo *et al.* 2011). El uso de métodos sencillos, económicos y prácticos como los estudiados en este trabajo permitiría mejorar la eficiencia y contribuir a la sustentabilidad de los sistemas de producción de leche de base pastoril.

4.2. CONCLUSIONES GENERALES

1. Los métodos indirectos son buenos estimadores de la biomasa aérea obtenida por cortes, tanto a escala anual como a escala estacional. En algunos casos, la precisión de la calibración del método estuvo afectada por la estación considerada. En el caso de la estimación visual, y a escala anual, los observadores tendieron a realizar la estimación considerando la biomasa verde en vez de la biomasa total, lo que no necesariamente ocurrió a escala estacional.

2. La validación con una ecuación de calibración por estación corroboró que la precisión del método está asociada a la estación considerada. Mientras que la estimación visual y el pasturómetro fueron métodos relativamente precisos, la regla graduada fue muy poco precisa. Se sugiere el uso de una ecuación de calibración por estación.

3. Los errores de estimación fueron relativamente altos para todos los métodos, siendo el otoño la estación que presentó mayor variabilidad en las estimaciones.

4. La validación con una ecuación de calibración para todo el período no mejoró la precisión de los métodos, sino que en términos generales la precisión disminuyó. En consecuencia, no se sugiere el uso de una única ecuación de calibración para el período bajo estudio.

4.3. PERSPECTIVAS PARA FUTURAS INVESTIGACIONES

Los resultados obtenidos en este trabajo dan lugar a nuevas preguntas relacionadas con los métodos de estimación de biomasa aérea y su utilidad para medir la disponibilidad de forraje en forma eficiente:

1. Si bien la estimación visual parece ser un método relativamente confiable para estimar biomasa aérea, es importante calibrar otros recursos forrajeros, y considerar la variabilidad interanual en la productividad de las pasturas. Esto implicaría, por ejemplo realizar más trabajos de investigación en verdeos de raigrás o pasturas de alfalfa pura, considerando la variabilidad regional, y a través de varios ciclos productivos. Asimismo, para el abordaje de estos estudios es importante considerar la variabilidad entre operarios.

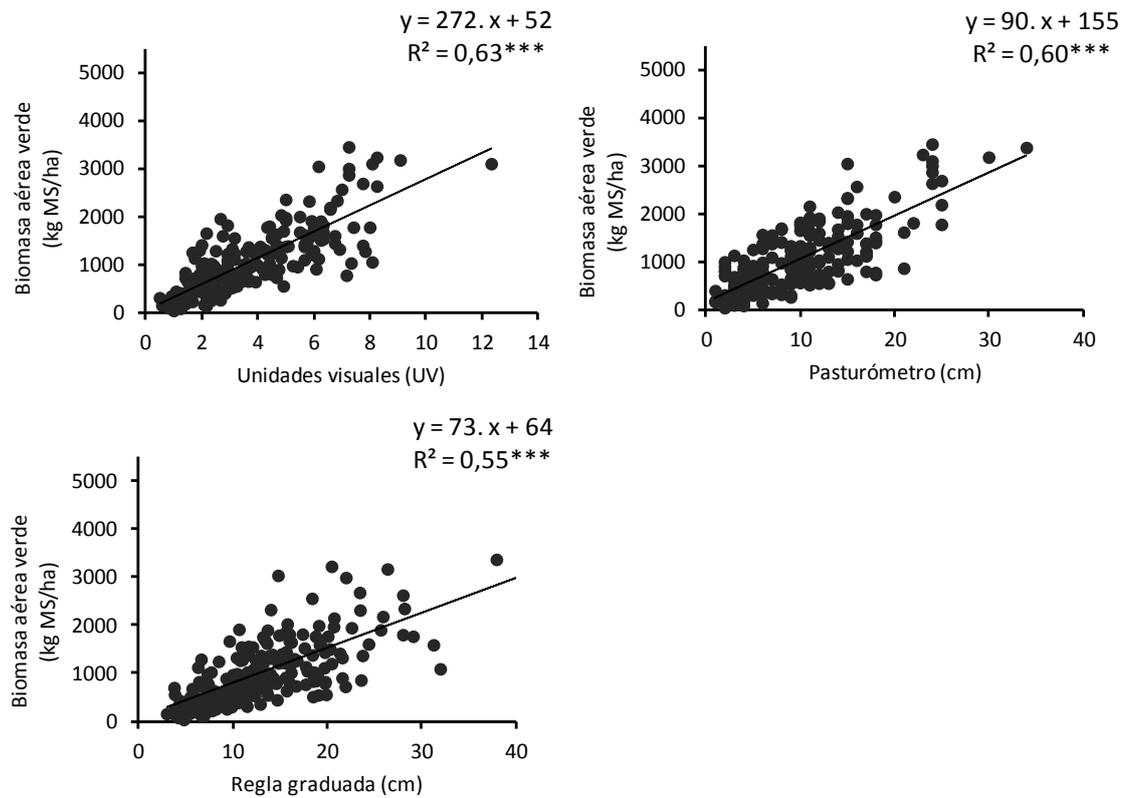
2. El uso de nuevas tecnologías, como la información provista por satélites a través de sensores remotos, permitiría mejorar las estimaciones de biomasa aérea, y en consecuencia mejorar la estimación de variables de importancia productiva como la tasa de crecimiento de las pasturas, o la estimación de consumo de forraje. En este sentido, la mejora de desarrollos tecnológicos (por ejemplo, nivel de resolución de los sensores, disponibilidad de la información en tiempo real) permitirá mejorar aún más las estimaciones y, por lo tanto, aumentar la eficiencia en el uso de los recursos.

3. La aparición de modelos de simulación complejos contribuirían significativamente a comprender mejor aspectos vinculados a la estimación de biomasa, y a la producción y utilización de los recursos forrajeros utilizados en los sistemas lecheros.

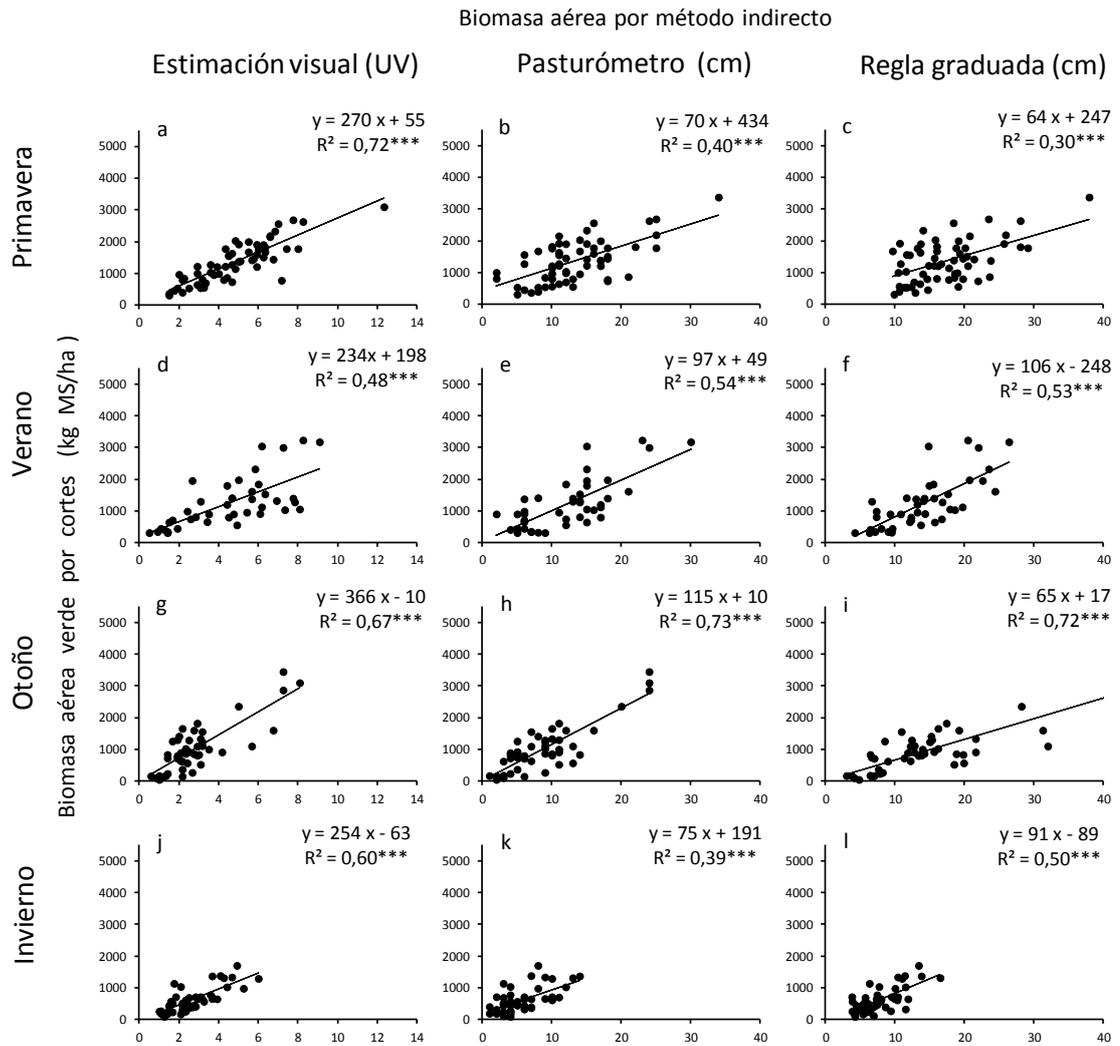
4.4. BIBLIOGRAFÍA

- Bretschneider, G. y Salado, E. 2010. Sistemas confinados vs. pastoriles. Ventajas y desventajas. Ficha técnica N°8. INTA, Estación Experimental Agropecuaria Rafaela, Santa Fe, Argentina.
- Castignani, H.; Osan, O.; Castignani, M.I. y Rossler, N. 2011. La competitividad de la producción lechera en relación con la agricultura: una revisión de su evolución en la última década en la Cuenca Central Santafesina. VII Jornadas Interdisciplinarias de Estudios Agrarios y Agroindustriales. Facultad de Ciencias Económicas, UBA, Argentina.
- Chimicz, J. y Gambuzzi, E.L. 2007. Producción primaria y regiones productivas. Revista IDIA XXI Lechería. N°9, Diciembre 2007. INTA, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina.
- Clarke-Hill, W.J. y Fraser, T.J. 2007. PasturePlan™: On-farm pasture growth and quality data for sheep and beef farms throughout New Zealand. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, 69: 73-77.
- Pembleton, K.G.; Rawnsley, R.P.; Jacobs, J.L.; Mickan, F.J.; O'Brien, G.N.; Cullen, B.R. y Ramilan, T. 2013. Evaluating the accuracy of the Agricultural Production Systems Simulator (APSIM) simulating growth, development, and herbage nutritive characteristics of forage crops grown in the south-eastern dairy regions of Australia. *Crop and Pasture Science*, 64 (2): 147-164.
- Romera, A.; Beukes, P.; Clark, D.; Clark, C. y Tait, A. 2013. Pasture growth model to assist management on dairy farms: Testing the concept with farmers. *Grassland Science*, 59: 20-29.
- Viglizzo, E.F.; Ricard, M.F.; Jobbágy, E.; Frank, F.C. y Carreño, L.V. 2011. Assessing the cross-scale impact of 50 years of agricultural transformation in Argentina. *Field Crops Research*, 124:186-194.
- Webby, R.W. 2002. The value of decision support models for farmer learning. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, 64: 45-47.
- White, S.L.; Benson, G.A.; Washburn, S.P. y Green Jr., J.T. 2002. Milk production and economic measures in confinement or pasture systems using seasonally calved Holstein and Jersey cows. *Journal of Dairy Science*, 85 (1): 95-104.

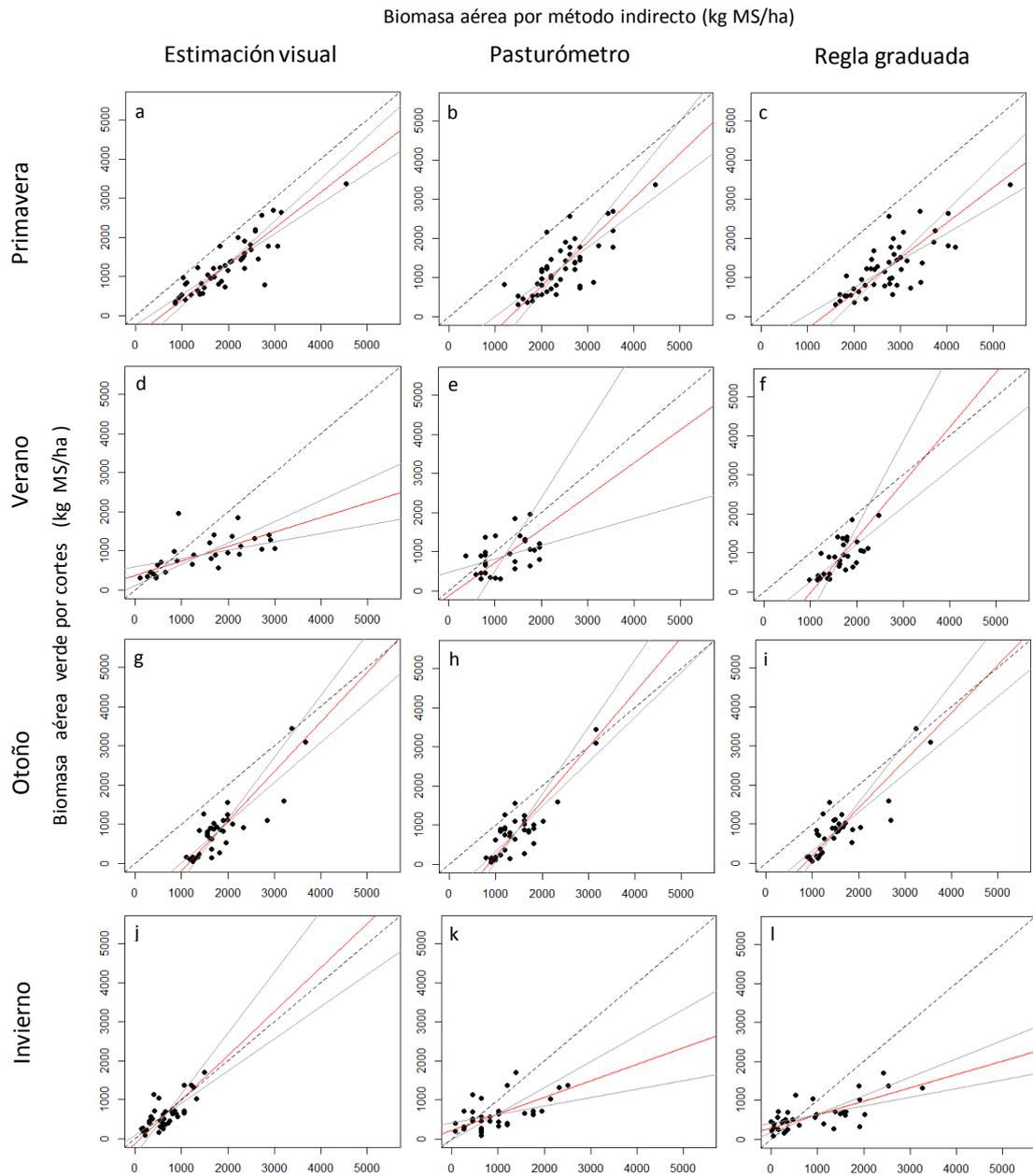
APÉNDICE



Apéndice - Figura 1: Calibraciones para todo el período bajo estudio (un año, n=198) para biomasa aérea verde y cada uno de los métodos indirectos. Cada punto representa la relación entre la biomasa observada obtenida por corte y la biomasa estimada por el método indirecto, para cada unidad de muestreo (n=12) y para cada fecha de muestreo (n=17) (con excepción de una fecha de muestreo donde n=6).



Apéndice - Figura 2: Calibraciones estacionales para biomasa aérea verde y cada uno de los métodos indirectos. Cada punto representa la relación entre la biomasa obtenida por corte y la biomasa estimada por el método indirecto correspondiente (fechas de muestreo x réplicas/fecha). Los valores de n son 60, 42, 48 y 48 para primavera, verano, otoño e invierno, respectivamente. En las columnas se observan los métodos indirectos; en las filas se observan las estaciones.



Apéndice - Figura 3: Regresiones lineales estacionales para cada uno de los métodos indirectos. Cada punto representa la relación entre la biomasa obtenida por corte y la biomasa estimada por el método indirecto correspondiente (fechas de muestreo por réplicas/fecha), una vez realizada la validación. Las líneas rojas representan la recta de regresión lineal. Las líneas grises representan el intervalo de confianza (95%). La línea discontinua representa a la relación 1:1. Los valores de n son 48, 30, 36 y 36 para primavera, verano, otoño e invierno, respectivamente. En las columnas se observan los métodos indirectos; en las filas se observan las estaciones.

Primer nivel de análisis: Validación con una ecuación por estación

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Total	450	0,07	0,05	109,76

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	102445,66	11	9313,24	3,06	0,0006
Estación	17805,15	3	5935,05	1,95	0,1211
Método	20730,87	2	10365,44	3,40	0,0342
Estación*Método	60222,40	6	10037,07	3,29	0,0035
Error	1334440,78	438	3046,67		
Total	1436886,44	449			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=14,56954

Error: 3046,6685 gl: 438

Estación	Medias	n	E.E.		
Primavera	42,33	144	4,60	A	
Verano	50,26	90	5,82	A	B
Invierno	52,15	108	5,31	A	B
Otoño	59,06	108	5,31		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=12,52656

Error: 3046,6685 gl: 438

Método	Medias	n	E.E.		
Plato	44,48	150	4,57	A	
Visual	47,88	150	4,57	A	
Regla	60,49	150	4,57		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=25,23518

Error: 3046,6685 gl: 438

Estación	Método	Medias	n	E.E.					
Primavera	Visual	21,17	48	7,97	A				
Verano	Plato	36,47	30	10,08	A	B			
Invierno	Visual	37,58	36	9,20	A	B			
Primavera	Plato	44,04	48	7,97		B	C		
Invierno	Plato	48,42	36	9,20		B	C	D	
Otoño	Plato	49,00	36	9,20		B	C	D	
Otoño	Regla	51,97	36	9,20		B	C	D	E
Verano	Visual	56,57	30	10,08		B	C	D	E
Verano	Regla	57,73	30	10,08		B	C	D	E
Primavera	Regla	61,79	48	7,97			C	D	E
Invierno	Regla	70,44	36	9,20				D	E
Otoño	Visual	76,22	36	9,20					E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Segundo nivel de análisis: Validación con una ecuación para todo el período

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Total	450	0,30	0,28	91,78

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	759083,78	11	69007,62	17,18	<0,0001
Método	162601,88	2	81300,94	20,24	<0,0001
Estación	300460,50	3	100153,50	24,93	<0,0001
Método*Estación	296021,39	6	49336,90	12,28	<0,0001
Error	1759787,36	438	4017,78		
Total	2518871,13	449			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=14,38508

Error: 4017,7794 gl: 438

Método	Medias	n	E.E.	
Regla	55,46	150	5,25	A
Visual	58,03	150	5,25	A
Plato	100,44	150	5,25	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=16,73117**

Error: 4017,7794 gl: 438

Estación	Medias	n	E.E.	
Primavera	42,33	144	5,28	A
Otoño	62,14	108	6,10	B
Verano	69,50	90	6,68	B
Invierno	111,27	108	6,10	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=28,97923**

Error: 4017,7794 gl: 438

Método	Estación	Medias	n	E.E.						
Visual	Primavera	21,17	48	9,15	A					
Regla	Verano	41,13	30	11,57	A	B				
Visual	Otoño	41,31	36	10,56	A	B				
Plato	Primavera	44,04	48	9,15	A	B				
Regla	Invierno	47,00	36	10,56	A	B	C			
Regla	Primavera	61,79	48	9,15		B	C			
Visual	Verano	66,97	30	11,57		B	C			
Regla	Otoño	71,92	36	10,56		B	C	D		
Plato	Otoño	73,19	36	10,56			C	D		
Plato	Verano	100,40	30	11,57				D	E	
Visual	Invierno	102,69	36	10,56					E	
Plato	Invierno	184,11	36	10,56						F

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)