

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**ANÁLISIS DE METODOLOGÍA PARA EL MONITOREO DE
PASTURAS EN PREDIOS COMERCIALES**

por

Alicia Carolina WALLER BÁRCENA

TESIS presentada como uno de los
requisitos para obtener el título de
Magíster en Ciencias Agrarias
opción Ciencias Animales

MONTEVIDEO
URUGUAY
Agosto 2020

Tesis aprobada por el tribunal integrado por Ing. Agr. Ph.D. Pablo Chilibroste, Ing. Agr. Ph.D. Walter Ayala, Ing. Agr. Ph.D. Mónica Cadenazzi, el 06 de agosto de 2020. Autora: Ing. Agr. Alicia Waller. Director Ing. Agr. Ph.D. Santiago Fariña, Co-director Ing. Agr. Ph.D. Fernando A. Lattanzi.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria estación La Estanzuela por permitirme realizar los trabajos de campo y brindarme el apoyo económico.

A mi orientador Santiago por su apoyo e incentivación en la realización del trabajo, por sus invaluable consejos. A Fernando, ese orientador que estuvo siempre cuando se lo necesito, por compartir sus conocimientos conmigo.

Al personal de la Unidad de Lechería, Eduardo, Marcelo, Daniel, Víctor, Martín, Carlos, Alejandro, Abel, José, familia López, por todo el apoyo en la tarea de campo, por todas esas horas compartidas. A la Unidad de servicios auxiliares, al equipo de biblioteca de INIA, por su amabilidad y auxilio. A los pasantes y estudiantes que acompañaron en el proyecto 10 MIL, por su apoyo en las tareas de campo. A mis compañeros de INIA, Sofía, Beatriz, Ramiro, Diego, Irene, John, Camila, Natalia, Emiliano con los que compartí este trayecto de mi formación. A Rocío, Alejandro, Tatiana y Alejandro por su valorable apoyo en mi formación personal y profesional.

A los productores que abrieron sus puertas para poder desarrollar este trabajo, Gabriel, Daivis, Andre.

A Gastón, Pablo y el equipo del CRS por apostar a un trabajo conjunto.

Las integrantes del tribunal Ing. Agr. (Ph.D.) Pablo Chilibroste, Ing. Agr. (Ph.D.) Walter Ayala, Ing. Agr. (Ph.D.) Mónica Cadenazzi por sus aportes y sugerencias para mejorar este trabajo.

A mis productores con los que trabajo, que me permiten ver la realidad de la lechería.

A mis amigos de siempre, Lu, Stefi, Ine, Ana, Pepe, Cecilia, Fiama, Anto, Carina.

En especial a los de siempre, los que apoyan desde hace mucho, La Familia, Papá, Mamá, Mauricio, Ricardo, Laura, Emilia, Darío y a los que se fueron, pero dejaron mucho en mí.

TABLA DE CONTENIDO

	página
PÁGINA DE APROBACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS	III
RESUMEN	V
SUMMARY	VI
1. INTRODUCCIÓN	7
1.1. HIPÓTESIS	16
1.2. OBJETIVOS	16
1.2.1. Objetivos generales	16
1.2.2. Objetivos específicos	16
2. PREDICTION AND ESTIMATION OF FORAGE BIOMASS WITH THE C-DAX® PASTURE METER IN PASTORAL SYSTEMS IN URUGUAY.....	17
2.1. RESUMEN	17
2.2. SUMMARY	18
2.3. INTRODUCTION	19
2.4. MATERIALS AND METHODS.....	20
2.4.1. Sampling	21
2.4.1.1. Commercial farms study	22
2.4.1.2. Statistical analysis	24
2.5. RESULTS.....	26
2.6. DISCUSSION.....	35
2.7. CONCLUSION.....	40
2.8. REFERENCES	41
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
3.1. CALIBRACIÓN DEL C-DAX.....	46
3.1. VALIDACIÓN EN PREDIOS COMERCIALES	49
4. CONCLUSIONES.....	56
5. BIBLIOGRAFÍA.....	57
7. ANEXO	62
7.1. ANEXO 1.....	62

RESUMEN

En los sistemas pastoriles uruguayos es necesaria una herramienta de apoyo en la estimación del forraje a efectos de mejorar su utilización por pastoreo. En otras regiones del mundo se han desarrollado y calibrado sensores lumínicos que permiten su uso a nivel de plataforma de pastoreo. Este estudio se planteó como objetivo determinar la precisión del sensor lumínico pasturómetro C-Dax® para estimar la biomasa a nivel de plataforma de pastoreo en sistemas pastoriles. Para la calibración se realizaron 773 mediciones simultáneas de altura con el sensor lumínico pasturometro C-Dax® y de biomasa por corte, en cinco recursos forrajeros, durante un año en dos sitios del sur de Uruguay. Las estimaciones de la biomasa se realizaron al ras del suelo y por encima de los 5 cm. Se analizó la influencia de tipo de recurso forrajero, la estación del año, y la edad de la pastura en el ajuste logrado. Se alcanzaron ajustes intermedios (R^2 0,4), dentro del rango reportado en la bibliografía, y con una mayor bondad de ajuste desde los 5 cm que desde el nivel del suelo. Los mejores intervalos de confianza se obtuvieron con ecuaciones de $n > 85$. La inclusión del recurso forrajero festuca disminuyó la precisión de la ecuación general en 114 kg MS/ha. La ecuación para año de implantación difiere del resto y su exclusión de la ecuación general disminuye el error. La estación verano mostró una relación altura/biomasa diferente al resto, sin embargo su exclusión de la ecuación general no mejora la precisión de las estimaciones. Se midió la adaptación del equipo en predios lecheros comerciales de forma semanal durante los meses de primavera. El rango de alturas de las plataformas comerciales es igual a las utilizadas en la calibración. Este trabajo demostró que el sensor lumínico C-Dax® es una herramienta adaptada para estimaciones de biomasa de forraje en las plataformas de pastoreo comerciales de Uruguay, si bien el recurso forrajero festuca y el primer año de implantación deben ser considerados.

Palabras clave: producción de pasturas, altura de la pastura, calibración, medición de forraje, plataforma de pastoreo.

ANALYSIS OF PASTURE MONITORING METHOD FOR COMERCIAL FARMS

SUMMARY

Uruguayan pastoral systems need a support tool for fodder estimation, to improve their utilization. In order to do so, light sensors which can be used at the grazing platform level have been developed. The aim of this study was to determine the accuracy of the C-Dax® pasture light sensor to estimate biomass at the grazing platform level in pasture-based systems. The study was based on 773 pasture height measurements in five forage resources, during one year, with biomass estimation at ground level and above 5 cm with the C-Dax® light sensor pasture meter. The influence of type of forage resource, season, and age of the pasture on the achieved fit of resulting models was analyzed. The best accuracy was achieved when measuring above 5 cm from ground level (R^2 0.40). The best confidence intervals were obtained with equations using $n > 85$. The inclusion of fescue measurements decreased the accuracy of the overall equation by 114 kg DM/ha. The equation for pasture sowing year differed from the rest and excluding such measurements reduced the error in the overall equation. Summer season showed a different height-biomass ratio although its exclusion did not improved the overall accuracy. The adaptation of the equipment was measured in commercial dairy farms on a weekly basis during the spring months. This determined that the range of pasture heights of commercial platforms is equal to those used in calibration. This study showed that local calibration of the C-Dax® can adapt to commercial grazing platforms, although fescue and the pasture sowing year should be considered for separate equations.

The C-Dax® was calibrated considering the height range used in commercial farms, which were measured weekly during the spring months. This study showed that local calibration of C-Dax® can be adapted to commercial grazing platforms of Uruguay or similar environments, although the fescue pastures and the first year of implantation should be considered separately.

Keywords: pasture production, sward height, calibration, pasturimeter, grazing platform

1. INTRODUCCIÓN

Se estima que la población mundial alcanzará los 9700 millones de personas en el 2050 (ONU, 2019). El crecimiento demográfico y la urbanización provocan aumentos en la demanda de alimentos (FAO, 2016). Se prevé que para el año 2025 la demanda de lácteos aumentará en un 25% (IFCN, 2016). Desde el punto de vista de la producción de leche, se estima para el 2025 una reducción en el número de establecimientos pero que los mismos serán de mayor escala y mayor nivel productivo (IFCN, 2016). A su vez, será necesario producir de manera sustentable desde el punto de vista económico, social y ambiental (Fariña y Chilbroste, 2019).

En Uruguay se viene dando un aumento en la producción de leche, que en los últimos 10 años (ejercicios 2008/09-2017/18) ha representado un 28% (DIEA, 2019; 2015). Este proceso se está dando en un escenario de aumento de competitividad de otras actividades alternativas, en particular la agricultura, lo que ha llevado a que el recurso suelo se encarezca en términos relativos un 349% entre los años 2004 y 2018. Como consecuencia, en este periodo, se ha dado una reducción del 21% de la superficie lechera (DIEA, 2019).

En el reciente trabajo realizado por Fariña y Chilbroste (2019) se establece que la mejora en la producción y utilización del forraje permitiría aumentar la competitividad de los sistemas lecheros de Uruguay. En base al relevamiento de productores del proyecto de Producción Competitiva de Conaprole, estos autores encontraron que los productores con mejor performance económica, estimada a través del margen de alimentación, tienen mayores niveles de cosecha de forraje (reservas y pastoreo) por hectárea. En los predios lecheros de Uruguay existe una clara brecha entre la producción y la cosecha de forraje. El seguimiento forrajero satelital de CONAPROLE (2019) indica que en Uruguay se logran producciones anuales de 12148 kg MS/ha de alfalfa (*Medicago sativa*) de segundo año, 11467 kg MS/ha de praderas de segundo año, 4660 kg MS/ha de avena (*Avena bizantina*) y 9561 kg MS/ha de raigrás (*Lolium multiflorum*). Sin embargo, en la encuesta realizada en el 2014 por INALE (2014), el promedio anual de cosecha total de forraje

fue de 4900 kg MS/ha y en ningún caso superó los 6800 kg MS/ha. El promedio de cosecha directa se ubicó en los 3400 kg MS/ha y el máximo ubicó en los 4700 kg MS/ha.

Es viable lograr altas cosechas de forraje directo mediante el control y monitoreo del “stock” (cobertura o biomasa promedio) y la tasa de crecimiento de la superficie efectiva de pastoreo (Fariña *et al.*, 2017). Esta metodología de manejo del pastoreo ha sido implementada durante décadas en sistemas pastoriles de producción de leche en Nueva Zelanda e Irlanda (Hanrahan *et al.*, 2018; Holmes y Roche 2007). Recientemente, mediante su implementación en estudios de sistema completo o “farmlets” en Uruguay se han reportado cosecha total de forraje promedio del sistema por encima de las 10 toneladas por hectárea y por año (Ortega *et al.*, 2018; Stirling *et al.*, 2019). El stock promedio de la superficie efectiva de pastoreo, se calcula como el promedio de la biomasa de pasturas por potrero en un momento dado (Fariña *et al.*, 2017). Este indicador, si se mantiene por encima de un nivel mínimo u objetivo, permite sostener buenos niveles de crecimiento en toda la superficie efectiva del sistema sin comprometer su calidad. La tasa de crecimiento se calcula como la diferencia entre dos estimaciones de biomasa de un potrero dividido los días entre dichas estimaciones, siempre que no haya habido remoción de material en ese intervalo de tiempo. El promedio de las tasas de crecimiento de todos los potreros es el indicador de cantidad de forraje que se adiciona al sistema diariamente (la oferta). Por ende, si existe una sincronía entre esta oferta diaria y la demanda a cosechar por los animales, se logrará mantener estable el stock de la superficie efectiva de pastoreo. De esta manera se logra aumentar el aprovechamiento del recurso más barato (Fariña y Chilibroste, 2019).

Para generar estos indicadores clave del sistema de pastoreo, la biomasa de forraje de cada potrero debe ser cuantificada de forma semanal a nivel de toda la superficie específica de pastoreo (Macdonald y Penno, 1998; Holmes y Roche, 2007; Fariña *et al.*, 2011; Hall *et al.*, 2019). Un beneficio adicional de este monitoreo es la obtención de otros indicadores secundarios, como pueden ser la distribución de biomasa por potrero (“escalera de potreros” o “pasture wedge” en inglés) y el estado fenológico

de cada potrero. La distribución de la biomasa de pasturas por potrero permite visualizar de forma gráfica los disponibles de ingreso y las situaciones post pastoreo del día de la recorrida, facilitando la elección de potreros y observando el patrón de biomasa disponible en potreros por pastorear (Fariña, 2017). Además, para tener un control de la calidad del material pastoreado, se debe vigilar de forma complementaria el estado fenológico de los recursos forrajeros, a través del registro de número de hojas en gramíneas y número de nudos en alfalfa (Berone *et al.*, 2020; Brown *et al.*, 2005; Fulkerson y Donaghy, 2001).

El monitoreo de la biomasa de las pasturas puede realizarse a través de varios métodos. Los directos, que presentan mayor precisión y son utilizados como métodos de referencia, y los indirectos, que permiten estimar la biomasa a través de variables de fácil medición (Cangiano y Brizuela 2011). Diferentes autores han realizado evaluaciones de métodos indirectos de estimación de forraje. Entre ellos se encuentran la estimación visual, el bastón de capacitancia, el plato medidor, las mediciones satelitales, la regla y los sensores lumínicos.

La técnica de estimación visual de biomasa de forraje requiere de un entrenamiento específico y, aun así, está sujeta a la subjetividad personal. El evaluador debe valorar e integrar la densidad, cobertura, contenido de MS, relación tallo/hoja, proporción vivo/muerto y composición botánica (Montossi, 2013). La mayor ventaja de esta técnica es que las mediciones son hechas sin ningún equipamiento. La integración de cortes, secado y pesado de las muestras, con la estimación visual, permite su ajuste. Esta técnica de estimación visual es utilizada en el método de doble muestreo (Haydock y Shaw, 1975). Si bien, se realizan estimaciones de biomasa con menor precisión en relación a la realización de cortes, se logran obtener resultados con buen nivel de representatividad a nivel de potrero.

La regla graduada, ajustada mediante cortes de calibración estacionales y por especies, permite correlacionar la altura con la biomasa. Es una herramienta práctica de fácil aprendizaje por los usuarios que brinda resultados inmediatos para la toma de decisiones (Sanderson *et al.*, 2001; Montossi *et al.*, 2013) y establece un grado de

independencia en la medición entre operarios. Por el lado de las limitantes, esta herramienta no permite detectar cambios en la densidad de forraje. A su vez sus mediciones son altamente sensibles a errores causados como consecuencia de la variación espacial en la estructura de la pastura, la intensidad de pastoreo, la composición botánica o la estación del año (Millapán, 2014).

El uso del plato medidor, o rising plate meter (Guaita *et al.*, 2000; Bisio *et al.*, 2001; Sanderson *et al.*, 2001; Intxusta Irisarri *et al.*, 2007; Lyons, 2007; King *et al.*, 2010; López-Guerrero *et al.*, 2011; Montossi, 2013), ha sido muy difundido. Este equipo registra valores de altura tomando en cuenta su densidad, los que se denominan como valores de altura comprimida. 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 (Cangiano y Brizuela, 2011). Como ventajas de este método se han reportado la determinación rápida y objetiva, permitiendo hacer un gran número de muestras por unidad de tiempo, el carácter no destructivo del método y su utilización sencilla y económica. Sus limitantes derivan de que los mejores resultados se obtienen en pasturas homogéneas y en estado vegetativo. Por otro lado, puede ser una dificultad la necesidad de calibración frecuente y las inadecuadas mediciones de remanentes de pastoreo. En alfalfa, en particular, la relación entre la biomasa y la altura comprimida puede variar de acuerdo al momento de pastoreo y estado fenológico. Hakl *et al.* (2012) determinaron que el plato es una buena herramienta de medición antes de la floración de alfalfa, cuando el ajuste (R^2) se ubicaba entre 0,7-0,8. Las estimaciones pueden arrojar resultados erróneos cuando se usa el plato medidor en estadios avanzados debido a la lignificación de los tallos.

Las imágenes satelitales son una herramienta que permite estimar la producción de forraje mediante la cantidad de radiación fotosintéticamente activa absorbida (RFAA) por el canopeo y la eficiencia con que esa energía es transformada en biomasa aérea (EUR). La RFAA es a su vez el producto entre la radiación fotosintéticamente activa incidente (RFA) y la fracción de esta que es absorbida por el canopeo (fRFAA). La fRFAA depende de la cantidad de área foliar y de la

estructura del canopeo. El Índice de Vegetación Normalizado (IVN) se calcula a partir de observaciones satelitales para el seguimiento de la vegetación y está directamente relacionado con la fRFAA por los componentes verdes del canopeo (Grigera, 2011). Existen variados sensores satelitales para la medición de forraje, como lo son MODIS o SENTINEL, cuyas resolución y frecuencia varían. Insua *et al.* (2019) demostraron que es posible utilizar estas herramientas para el apoyo en la toma de decisiones en sistemas pastoriles. Sin embargo, la limitante para determinar la tasa de crecimiento del forraje de forma semanal en predios lecheros está dada por la variabilidad en la calidad y frecuencia de las imágenes satelitales obtenidas, el insuficiente tamaño de píxeles y variabilidad en el clima (presencia de nubosidad).

El uso de sensores lumínicos se basa en la determinación de la altura y su correlación con la biomasa disponible. El sensor C-Dax® desarrollado en Nueva Zelanda, ha sido adoptado ampliamente en ese país (Eastwood y Dela Rue, 2017). Cuenta con 18 emisores de rayos infrarrojos y sus respectivos receptores, dispuestos de forma vertical sobre el suelo y distanciados 2,5 cm. Al ser arrastrado por un vehículo registra la altura máxima interceptada por los rayos sobre un ancho de pasada de 30 cm. Realiza 200 lecturas de altura por segundo y la velocidad recomendada de uso es hasta los 20 km/h. Las ventajas de este sensor son la rapidez con que obtiene mediciones y genera el registro de altura promedio, la representatividad espacial de las mediciones, por su alta frecuencia, y el hecho de que las estimaciones no son afectadas por el usuario ni comprende un esfuerzo físico por parte del mismo (Lyons, 2007; Yule *et al.*, 2010, King *et al.*, 2010).

En la revisión realizada por López-Díaz *et al.* (2011) se encontró que para los métodos de estimación visual, plato medidor y regla, el ajuste promedio era de 0,78, 0,74, 0,72, respectivamente. Si bien estos promedios son muy similares entre sí, hay una gran variación entre los trabajos analizados.

Los métodos de estimación antes mencionados han sido evaluados en varias regiones pastoriles del mundo para diferentes recursos. En Uruguay los recursos utilizados en los establecimientos lecheros están basados mayormente en alfalfa, raigrás, avena,

festuca (*Festuca arundinacea*) y dactylis (*Dactylis glomerata*). Según los trabajos realizados en varias regiones (Tabla 1) no todas las herramientas logran el mismo nivel de ajuste para estimación de biomasa en los diferentes recursos forrajeros. Para gramíneas perennes, los ajustes de las estimaciones son en general buenos, aunque algunos autores resaltan altos niveles de error (Sanderson *et al.*, 2001) y que en algunas situaciones de alto disponible o de forma regional se deben re-calibrar (López-Guerrero *et al.*, 2011; Montossi, 2013). En verdeos, la utilización de la regla da un rango de ajuste amplio (Montossi *et al.*, 2013), mientras que el plato medidor y el C-Dax® logran mejores ajustes (Lyons, 2007; Insua *et al.*, 2019). La alfalfa es un recurso muy utilizado en las zonas lecheras uruguayas, pero su biomasa es difícil de estimar a campo. A nivel regional, en Argentina, Guaita *et al.* (2000) encontraron diferencias en situaciones pre y post pastoreo. Otros autores encuentran diferentes ajustes, que pueden deberse a que la estructura de la planta en pastoreo dificulta la utilización de estas herramientas de medición. Esto se debe a que los tallos lignificados de la alfalfa no pastoreados pueden impedir el descenso del plato, incurriendo en una sobreestimación de la altura comprimida (t'Mannetie, 2000). Para sensores lumínicos se han mostrado un mejor ajuste en esta especie (Lyons, 2007).

En Uruguay las superficies de pastoreo de los sistemas de producción de leche o de ganadería intensiva cuentan con distintas especies de pasturas, mezclas y estados fenológicos. Según la encuesta de INALE (2014) en los establecimientos lecheros el área destinada a pradera representa el 71%, incluyendo un 23%, 23%, 18%, 7% del área en praderas de 1^{ro}, 2^{do}, 3^{ro} y hasta 4^{to} año. El restante 29%, está compuesto de verdeos, en rotación de invierno y verano. La situación de los sistemas pastoriles locales está fuertemente dominada por praderas que tienen una perennidad de hasta 4 años, dominadas por alfalfa, festuca y dactylis. Según datos de INASE (2020), estas especies representan aproximadamente el 50% del área sembrada de praderas de los sistemas pastoriles lecheros en promedio en los últimos 10 años. El restante 50% está compuesto de especies bianuales como por ejemplo cebadilla (*Bromus catharticus*), trébol rojo (*Trifolium pratense*), achicoria (*Cichorium intybus*). Algo similar ocurre en la Argentina, donde la alfalfa constituye la base del componente de praderas de las

rotaciones forrajeras en las regiones lecheras predominantes (Lazzarini *et al.*, 2019).

Una dificultad en la adopción del monitoreo de pasturas para la toma de decisiones en sistemas de producción de leche o carne en Uruguay radica en que no existen metodologías simplificadas que permiten con una sola herramienta obtener una estimación precisa y rápida de toda la superficie específica de pastoreo. Los productores requieren herramientas para la medición de pasturas que sean fáciles de utilizar, permitiendo de forma rápida la medición de toda la superficie específica de pastoreo (Eastwood y Dela Rue, 2017).

Tabla 1. Estudios en el uso de distintas herramientas de estimación de biomasa

Autor/es	País	Método	Pastura	Resultados
Sanderson <i>et al.</i> , 2001	EEUU	Capacitancia Plato medidor Regla	<i>Festuca arundinacea</i> - <i>Poa pratensis</i> - <i>Trifolium repens</i>	R ² : 0,14-0,31 Error alto 26-33%. Se debe calibrar para cada región
López-Guerrero <i>et al.</i> , 2011	México	Corte Visual Plato medidor	<i>Festuca arundinacea</i> - <i>Poa pratensis</i> - <i>Dactylis glomerata</i> - <i>Elytrigia repens</i>	Sobrestimaron la biomasa de forraje presente. Sin diferencias entre métodos
Montossi <i>et al.</i> , 2013	Uruguay	Regla	<i>Festuca arundinacea</i>	R ² :0,72 y 0,85
Montossi, 2013	Uruguay	Plato medidor	<i>Festuca arundinacea</i>	Ecuación por estaciones, mayores diferencias para mas de 2000kg
Intxusta Irisarri <i>et al.</i> , 2007	Argentina	Plato medidor	<i>Festuca arundinacea</i> - <i>Dactylis glomerata</i> - <i>Phalaris aquatica</i>	R ² : 0,92
Insua <i>et al.</i> , 2019	EEUU	C-Dax	<i>Festuca arundinacea</i>	R ² : 0,82
Montossi <i>et al.</i> , 2013	Uruguay	Regla	<i>Avena bizantina</i>	R ² : 0,54 a 0,81
Montossi <i>et al.</i> , 2013	Uruguay	Regla	<i>Lolium multiflorum</i>	R ² : 0,63 a 0,88

Montossi, 2013	Uruguay	Plato medidor	Verdeos invierno	R ² :0,64
Lyons, 2007	Australia	C-Dax	<i>Lolium perenne</i>	R ² : 0,85
		Plato medidor	<i>Lolium perenne</i>	R ² : 0,89
King <i>et al.</i> , 2010	Nueva Zelanda	C-Dax Plato medidor	<i>Lolium perenne - Trifolium repens</i>	Puede sobreestimar, pero el error es similar para los dos métodos.
Loaiza <i>et al.</i> , 2012	Chile	C-Dax	<i>Lolium multiflorum</i>	R ² : 0,70
Insua <i>et al.</i> , 2019	EEUU	C-Dax	<i>Lolium multiflorum</i>	R ² : 0,75
Guaita <i>et al.</i> , 2000	Argentina	Plato medidor	<i>Medicago Sativa</i>	Prepastoreo R ² : 0,83
				Pospastoreo R ² : 0,63
Bisio <i>et al.</i> , 2001	Argentina	Plato medidor	<i>Medicago Sativa</i>	Todos los métodos fueron igualmente precisos
		Corte		
		Visual		
Lyons, 2007	Australia	C-Dax	<i>Medicago Sativa</i>	R ² : 0,87
		Plato medidor		R ² : 0,52

1.1. HIPÓTESIS

-La medición de altura por sensor lumínico permite la estimación precisa de la biomasa de forraje disponible en toda la superficie efectiva de pastoreo de predios lecheros de Uruguay.

-La integración de los factores de tipo de recurso, tiempo de rebrote y estación del año permiten obtener mejores ajustes en la estimación de biomasa de forraje.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivos generales

Determinar la precisión de un sensor lumínico para estimar biomasa de pastura a nivel de toda la superficie efectiva de pastoreo de predios pastoriles en Uruguay.

1.2.2. Objetivos específicos

-Calibrar un método de estimación de biomasa a través de altura de forraje para pasturas predominantes en predios lecheros de Uruguay.

-Analizar la precisión de las estimaciones de biomasa generadas y los factores que las afectan.

-Desarrollar ecuaciones aplicables a la totalidad de la superficie efectiva de pastoreo.

-Estudiar la adaptabilidad del método para su uso en toda la superficie efectiva de pastoreo de predios lecheros comerciales.

2. PREDICTION AND ESTIMATION OF FORAGE BIOMASS WITH THE C-DAX® PASTURE METER IN PASTORAL SYSTEMS IN URUGUAY¹

2.1. RESUMEN

En los sistemas pastoriles uruguayos es necesaria una herramienta de apoyo en la estimación del forraje a efectos de mejorar su utilización por pastoreo. En otras regiones del mundo se han desarrollado y calibrado sensores lumínicos que permiten su uso a nivel de plataforma de pastoreo. Este estudio se planteó como objetivo determinar la precisión del sensor lumínico pasturómetro C-Dax® para estimar la biomasa a nivel de plataforma de pastoreo en sistemas pastoriles. Para la calibración se realizaron 773 mediciones simultáneas de altura con el sensor lumínico pasturometro C-Dax® y de biomasa por corte, en cinco recursos forrajeros, durante un año en dos sitios del sur de Uruguay. Las estimaciones de la biomasa se realizaron al ras del suelo y por encima de los 5 cm. Se analizó la influencia de tipo de recurso forrajero, la estación del año, y la edad de la pastura en el ajuste logrado. Se alcanzaron ajustes intermedios (R^2 0,4), dentro del rango reportado en la bibliografía, y con una mayor bondad de ajuste desde los 5 cm que desde el nivel del suelo. Los mejores intervalos de confianza se obtuvieron con ecuaciones de $n > 85$. La inclusión del recurso forrajero festuca disminuyó la precisión de la ecuación general en 114 kg MS/ha. La ecuación para año de implantación difiere del resto y su exclusión de la ecuación general disminuye el error. La estación verano mostró una relación altura/biomasa diferente al resto, sin embargo su exclusión de la ecuación general no mejora la precisión de las estimaciones. Se midió la adaptación del equipo en predios lecheros comerciales de forma semanal durante los meses de primavera. El rango de alturas de las plataformas comerciales es igual a las utilizadas en la calibración. Este trabajo demostró que el sensor lumínico C-Dax® es una

¹ El artículo va a ser publicado en la Grass and Forage Science

herramienta adaptada para estimaciones de biomasa de forraje en las plataformas de pastoreo comerciales de Uruguay, si bien el recurso forrajero festuca y el primer año de implantación deben ser considerados.

Palabras clave: producción de pasturas, altura de la pastura, calibración, medición de forraje.

2.2. SUMMARY

Uruguayan pastoral systems need a support tool for fodder estimation, to improve their utilization. In order to do so, light sensors which can be used at the grazing platform level have been developed. The aim of this study was to determine the accuracy of the C-Dax® pasture light sensor to estimate biomass at the grazing platform level in pasture-based systems. The study was based on 773 pasture height measurements in five forage resources, during one year, with biomass estimation at ground level and above 5 cm with the C-Dax® light sensor pasture meter. The influence of type of forage resource, season, and age of the pasture on the achieved fit of resulting models was analyzed. The best accuracy was achieved when measuring above 5 cm from ground level (R^2 0.40). The best confidence intervals were obtained with equations using $n > 85$. The inclusion of fescue measurements decreased the accuracy of the overall equation by 114 kg DM/ha. The equation for pasture sowing year differed from the rest and excluding such measurements reduced the error in the overall equation. Summer season showed a different height-biomass ratio although its exclusion did not improved the overall accuracy. The adaptation of the equipment was measured in commercial dairy farms on a weekly basis during the spring months. This determined that the range of pasture heights of commercial platforms is equal to those used in calibration. This study showed that local calibration of the C-Dax® can adapt to commercial grazing platforms, although fescue and the pasture sowing year should be considered for separate equations. The C-Dax® was calibrated considering the height range used in commercial farms, which were measured weekly during the spring months. This study showed that local

calibration of C-Dax[®] can be adapted to commercial grazing platforms of Uruguay or similar environments, although the fescue pastures and the first year of implantation should be considered separately.

Keywords: pasture production, sward height, calibration, pasturemeter, grazing platform

2.3. INTRODUCTION

In grazing animal production systems, there is a close association between harvested pasture and economic revenue (Hanrahan *et al.*, 2018; Dillon *et al.*, 2005). Recent studies show that in dairy farms in Uruguay pasture consumption per hectare is far below environmental potential (Fariña and Chilibröste, 2019). In order to achieve a high pasture consumption per hectare it is necessary to carry out a tight pasture management (Fariña *et al.*, 2017; Holmes and Roche, 2007) involving a periodical forage biomass estimation over the whole grazing platform (Hall *et al.*, 2019). In Uruguay, these grazing platforms comprise a wide diversity of species and mixtures (Zanoniani, 2010), presenting different pasture ages (Fariña and Chilibröste, 2019), and growing in climatically contrasting seasons (Otero and Castro, 2019).

The tools available to monitor pasture biomass are diverse. Mechanical cutting offers the highest precision and is used as the reference method. However, it cannot be used for grazing platform monitoring as it implies an excessive demand of time and physical effort (Cangiano and Brizuela, 2011). Indirect estimation methods are the most utilized for grazing platform monitoring. Visual forage estimation requires specific training and is subject to the personal subjectivity of the operator (O'Donovan *et al.*, 2002). Satellite images allow remote monitoring but their low measurement frequency difficult their use in grazing platforms to make short-term decisions (Grigera, 2011).

Various measurement tools estimate biomass from pasture height. The rising plate meter (RPM) allows a rapid and objective determination of forage compressed height (Nakagami and Itano, 2014; Montossi, 2013; Hakl *et al.*, 2012; Sanderson *et al.*,

2001), with a good fit for grasses, but presents difficulties with erect legumes such as *Medicago sativa* (lucerne) (t Mannetie, 2000). Recently, height meters based on light sensors have been developed, such as the C-Dax® pasture meter (Yule *et al.*, 2010), which has the advantage of being quick and effortless to use, without operator effect and has a high measurement frequency (Oudshoorn *et al.*, 2011; King *et al.*, 2010). The C-Dax® is a dragging device that measures pasture height by interception of infrared light beams, obtaining 200 measurements per second at a speed of up to 20 km/hour. This tool has been calibrated only for perennial ryegrass in New Zealand by King *et al.* (2010), with 768 cuts in five regions. Rennie *et al.* (2009) found that calibration must be done regionally to reduce the error and variations due to contrasting seasons and forage species should be considered. In this way, it is still unknown how well this tool estimates pasture biomass in highly heterogeneous grazing platforms, as is the case in Uruguay.

The objective of this study was to evaluate the accuracy in the estimation of pasture biomass through height measurement with the C-Dax® pasturemeter and the influences of cut height, type of forage resource (species present in the pasture), season of the year, and age of the pasture.

2.4. MATERIALS AND METHODS

The study was carried out at the experimental dairy farms of the National Institute of Agricultural Research La Estanzuela (LE), Department of Colonia (34°20'19.63 "S - 57°41'25.39 "W) and the Southern Regional Center of the Universidad de la República (CRS), Department of Canelones (34°36'46.60 "S - 56°13'5.46 "W), both in Uruguay. The forage resources (R) evaluated were lucerne/orchardgrass (30% *Medicago sativa*; 65% *Dactylis glomerata*), lucerne/prairie grass (*Medicago sativa*; *Bromus catharticus*), festuca (*Festuca arundinacea*), orchardgrass/white clover (73% *Dactylis glomerata*; 8% *Trifolium repens*) and ryegrass/oat (*Lolium multiflorum*; *Avena byzantina*).

The sampling period in both sites went from March 15, 2017 to May 30, 2018, in

order to cover the temporal heterogeneity present in an annual production cycle.

2.4.1. Sampling

A total of 1036 samples were taken. Each sampling consisted of estimating height and available biomass in a section 6 meters long and 0.3 meters wide. The height of the pasture in the section was measured with the C-Dax[®] pasture meter pulled by a quad bike at a speed between 6 and 8 km/hour. The available forage biomass was estimated by making a total cut of the area at a height of 5 cm above ground level with a self-propelled Honda[®] lawn mower. Forage biomass between the ground and 5 cm was estimated by cutting with scissors three frames of 50 x 30 cm distributed randomly across the 6 m section. All samples were dried at 65°C in a forced-air oven for 48 hs and ground with a mill through a 1 mm mesh for ash determination (AOAC, 1980).

In order to correct for possible soil contamination of samples obtained with the lawn mower, a control sample at the side of each sampling section (which had not been lawn-mowed) was cut with scissors above a height of 5 cm from ground level, and its ash percentage was analyzed. A correction was made by calculating the difference between the ash percentage of the control sample and the ones from the sampling section. For those samples where this correction was not available, all samples with more than 55% dry matter (n=263) were removed from the database.

The paddocks used for each sampling were chosen from the total number of paddocks present on the grazing platform. A total of 46 paddocks were sampled, covering each of the 5 forage resources throughout all four seasons of the year (except for Ryegrass/Oat in which there was no sampling during the summer), and in 4 age categories: sowing year (year 0), year 1, year 2 and year 3 (Table 1).

In order to have an equitable representation of the different regrowth stages, samples were chosen from 3 possible grazing situations: a) no more than 48 hs pre-grazing; b) intermediate situations between pre and post-grazing; c) no more than 48 hs post-grazing. Measured pasture height ranged between 31 and 220 mm above ground

level.

Table 1. Number of cuts (n) for the variables of Forage Resource, Season, and Age Category.

Forage Resource	n	Season	n	Age Category	n
lucerne/prairie grass (L/Pg)	85	Mar-May	285	0	233
lucerne/orchardgrass (L/Og)	150	Jun-Aug	137	1	291
ryegrass/oat (Rg)	146	Sep-Nov	208	2	127
orchardgrass/white clover (O/Wc)	273	Dec-Feb	143	3	122
fescue (F)	119				
Total	773	Total	773	Total	773

2.4.1.1. Commercial farms study

In order to evaluate the adaptability of the C-Dax® pasturemeter to the larger scale grazing platforms of commercial farms, a study was carried out at three dairy farms in the Department of Colonia for 12 consecutive weeks between August and October 2018. In each farm, the grazing platform was measured weekly, recording average grass height with the C-Dax pasture meter following a diagonal transect in each paddock. A total of 57 paddocks were recorded (Table 2).

Table 2. Details of the grazing platforms and paddocks of the commercial farms included in the study.

	Farm A			Farm B			Farm C		
Average platform area (ha)	220			57			110		
Average number of cows being milked	445			97			227		
Average number of paddocks	29			13			15		
	Resource	Age	% of the area	Resource	Age	% of the area	Resource	Age	% of the area
	O,Rg		29%	Rg		32%	Rg		32%
	Rg perennial		8%	L	1	10%	F	1	2%
	Rg-RC-L		4%	L	2	15%	L	0	5%
	Og-L-RC	0	7%	F	1	15%	L	1	7%
	Og-L	1	8%	F	2	11%	L	2	24%
	F-L	1	3%	F	4	9%	L	3	30%
	RC-L-F	2	13%	F	6	8%			
	L	2	4%						
	Og-F-L	2	4%						
	RC-L-Og-F	3	3%						
	F-L	3	18%						

F: fescue; O: oat; Og: orchardgrass; RC: red clover; Rg: ryegrass; L: lucerne

2.4.1.2. Statistical analysis

The following variables were used to analyze the relationship between grass height and biomass:

- Dry biomass available at ground level, in kg/ha.
- Dry biomass available above 5 cm from the ground, in kg/ha.
- Fresh biomass available at ground level, in kg/ha.
- Fresh biomass available above 5 cm from the ground, in kg/ha.

To calculate the dry and fresh biomass at ground level in each sample section (6 x 0.3 m), we added the amounts of dry matter obtained by lawn mowing above 5 cm to the average value of the 3 frames cut at ground level.

Since several measurements were made in each paddock, a mixed model was used to evaluate the possible existence of a structure of the covariance error derived from these repeated measurements over time:

$$y = FR + S + CDax\ height + FR * S + FR * CDax\ height + CDax\ height * S + height * FR * S + \varepsilon$$

Where Forage Resource (FR), Season of the Year (S), and C-Dax height (in mm) are the variables analyzed. The fixed effect is C-Dax height. The random effects are FR, S, and the interactions (FR x S, FR x C-Dax height, S x C-Dax height, and FR x S x C-Dax height). And ε is the error. As different error structures in the mixed model did not generate greater differences in Akaike Information Criterion (AIC), indicating a better fit than the diagonal structure (Table 3), all the following analyses assume that each of the 773 measurements is independent.

Table 3: Akaike Information Criterion (AIC) for the variables of biomass at ground level and biomass available above 5 cm from the ground, on fresh and dry basis, according to mixed models with different error covariance structures.

Variable	Diagonal	Autoregressive	Compound Symmetry
<u>Dry biomass ground level</u>	12028	11878	11931
<u>Dry biomass above 5 cm</u>	11684	11593	11637
<u>Fresh biomass ground level</u>	14219	14001	14077
<u>Dry biomass above 5 cm</u>	13944	13734	13828

The relationship between biomass and grass height was analyzed with linear ($y = a + bx$) and quadratic equations ($y = a + bx + cx^2$), where y is the available biomass (kg/ha), a is the intercept, b the linear coefficient, c the quadratic coefficient, and x is C-Dax® height (mm). Exponential equations were also evaluated but they are not shown here since they showed similar results as the quadratic ones. These equations were adjusted to different portions of the available dataset resulting in:

- A single equation which comprises all the data (one equation).
- Simple equations that comprise data partitioned by a single factor: forage resource (five equations), season (four equations), or age (four equations).
- Multiple equations that comprise data partitioned by more than one factor: resource within each season (19 equations), resource within each age (15 equations), station within each age (16 equations), and resource within each station and age (41 equations).

Goodness of fit was evaluated through R^2 and adjusted R^2 , the root mean square error (RMSE), the AIC and corrected AIC (AICC), the confidence intervals (95% CI) of each parameter, the equation, and the prediction. Finally, cross validation of k -iterations was used to evaluate the mean absolute error of the prediction of the single equation against the simple equations. For this purpose, data was divided into k -subsets with equal n , to then use the data of $k-1$ of the subsets to fit the equation (calibration) with which the value of the unused subset data was predicted and used

in the fit (validation). This procedure is repeated k times and the mean absolute error is simply the mean absolute difference between all the predictions and observations. No difference was observed in the estimated mean absolute error with $k = 3$, $k = 4$ or $k = 5$.

2.5. RESULTS

Goodness of fit of the linear equations was similar to that of quadratic equations in terms of adjusted R^2 , AICC, and RMSE, for both dry and fresh biomass, available both at ground level and above 5 cm (Figure 1; a, e). In other words, no evidence of non-linearity was found in the relationship between biomass and height.

The goodness of fit between grass height and dry biomass was better for biomass available above 5 cm from the ground (Figure 1; d, h) than at ground level (Figure 1; c, g). However, for fresh biomass the goodness of fit was similar for biomass measured above 5 cm (Figure 1; b, f) and at ground level (Figure 1; a, e). In addition, the fit between grass height and fresh biomass was in general better than between grass height and dry biomass, particularly at ground level (Figure 2).

The multiple equations showed lower RMSE (Figure 1; u, v, w, x) and AICC (Figure 1; m, n, o, p) than the simple equations, but a much greater dispersion of R^2 values (Figure 1; e, f, g, h).

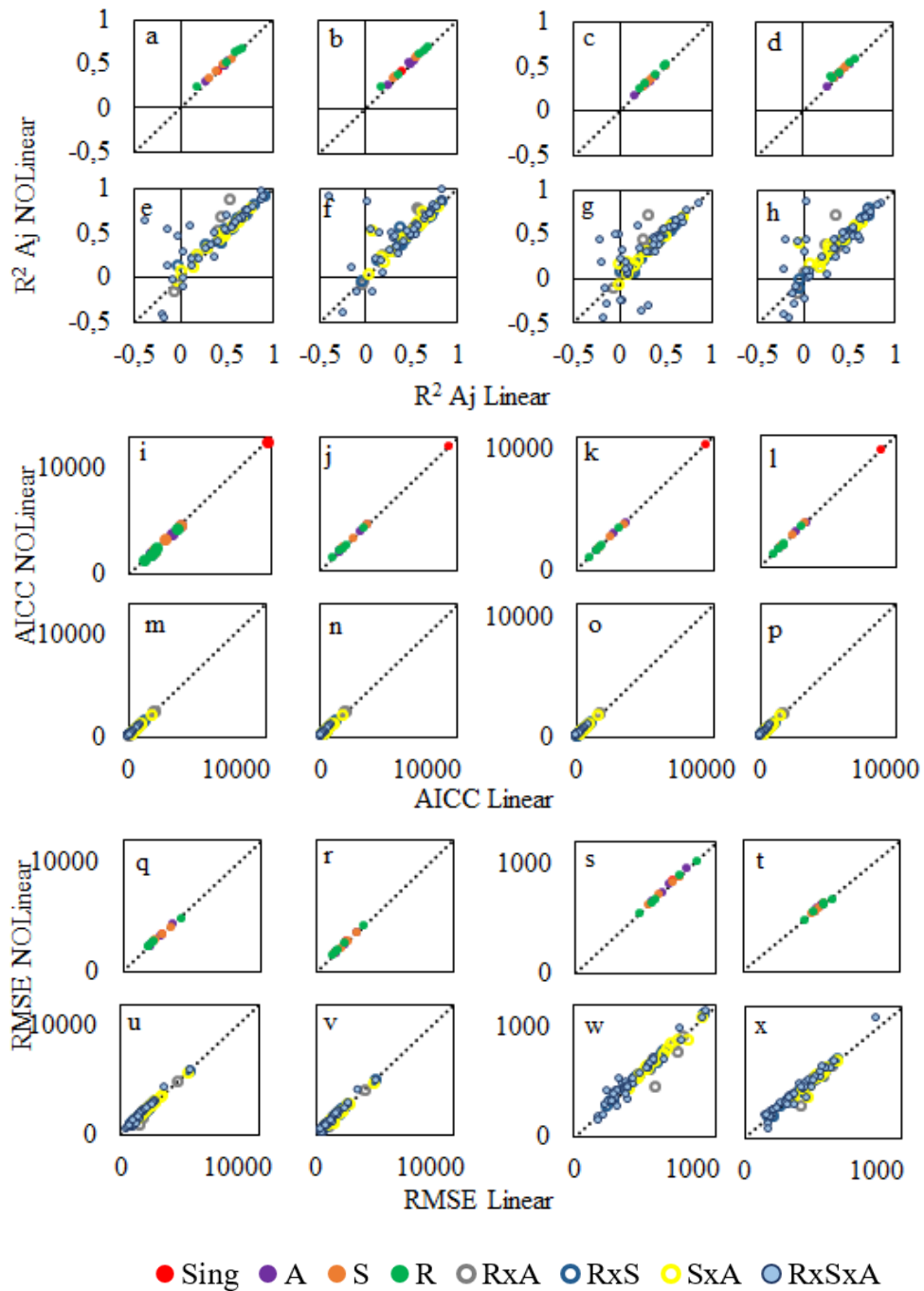


Figure 1: Goodness of fit of simple linear models vs. quadratic models measured as adjusted R^2 (a-h), AICC (i-p), and RMSE (q-x), for the general single equation; for the equations separated by Forage Resource, Season, and Age Category (a-d, i-l, q-t);

and for the separate equations for each multiple combination of Forage Resource, Season, and Age Category (e-h, m-p, u-x), of the ratio between grass height and dry biomass at ground level (c, g, k, o, s, w), dry biomass above 5 cm from the ground (d, h, l, p, t, x), fresh biomass at ground level (a, e, i, m, q, u), and fresh biomass above 5 cm from the ground (b, f, j, n, r, v).

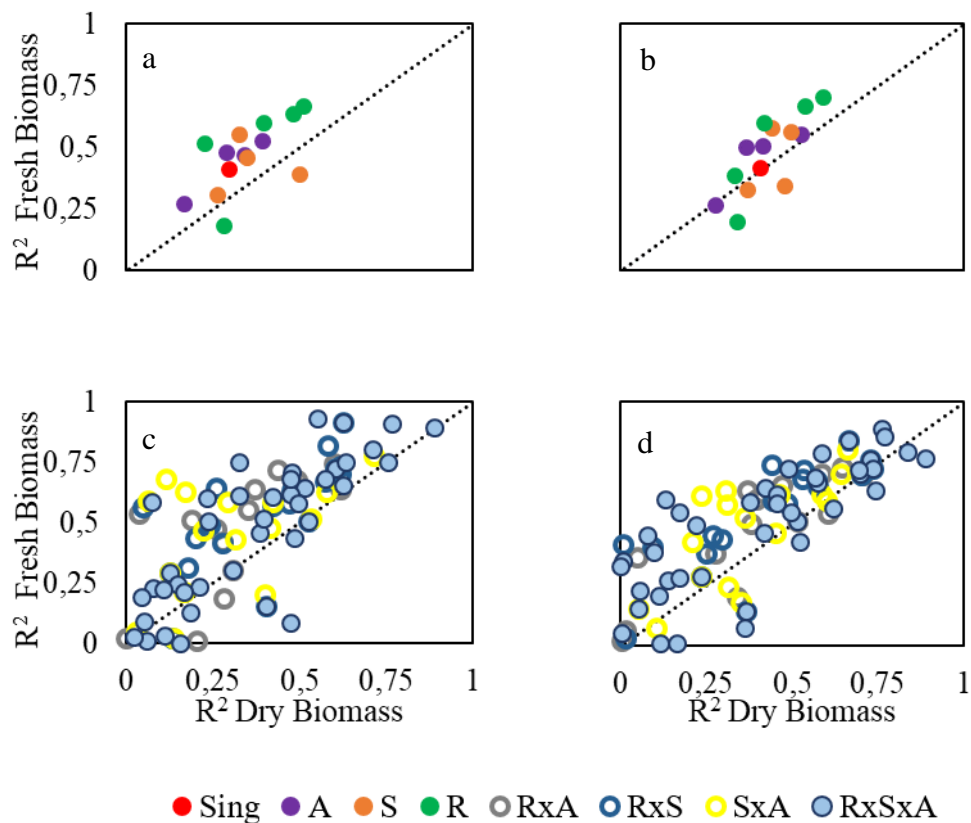


Figure 2: Goodness of fit (R^2) of equations for dry biomass and fresh biomass at ground level (a and c) and above 5 cm from the ground (b and d).

The following analyses will focus on the linear equations for predicting dry biomass above 5 cm from the ground, because (i) the goodness of fit for dry biomass at ground level were less accurate, (ii) the adjustments for available dry and fresh biomass above 5 cm were similar, and (iii) dry biomass is the variable of greatest interest for this work in terms of its relevance to feedbase decisions in animal production systems.

By adjusting a single equation to the 773 available data, we obtained a slope of 12.1

kg DM/ha/mm (S.E. 1.04) and an intercept of 61.9 kg DM/ha (S.E. 127), with an R^2 of 0.40, RMSE of 602 kg DM/ha, and an mean absolute error of 468 kg DM/ha.

By making separate adjustments for each season, forage resource, or age category (referred to as "simple equations"), the slopes varied between 8.6 and 16.6 kg MS/ha/mm and the intercepts between -299 and 440 kg MS/ha. By making separate adjustments for each combination of season, forage resource and age category (referred to as "multiple equations"), the slopes ranged between -25.3 and 40.7 kg DM/ha/mm and the intercepts between -3462 and 2403 kg DM/ha (Figure 3).

When comparing slopes of the single equation vs. the simple equations, only the equations for pastures of age category "0" and for the "Summer" season differed statistically (i.e. the confidence intervals did not overlap), being higher than in the single equation ($p < 0.05$, Figure 3a inset). For the intercepts, it was only the pastures of age category "0" and "1" that differed (Figure 3b inset).

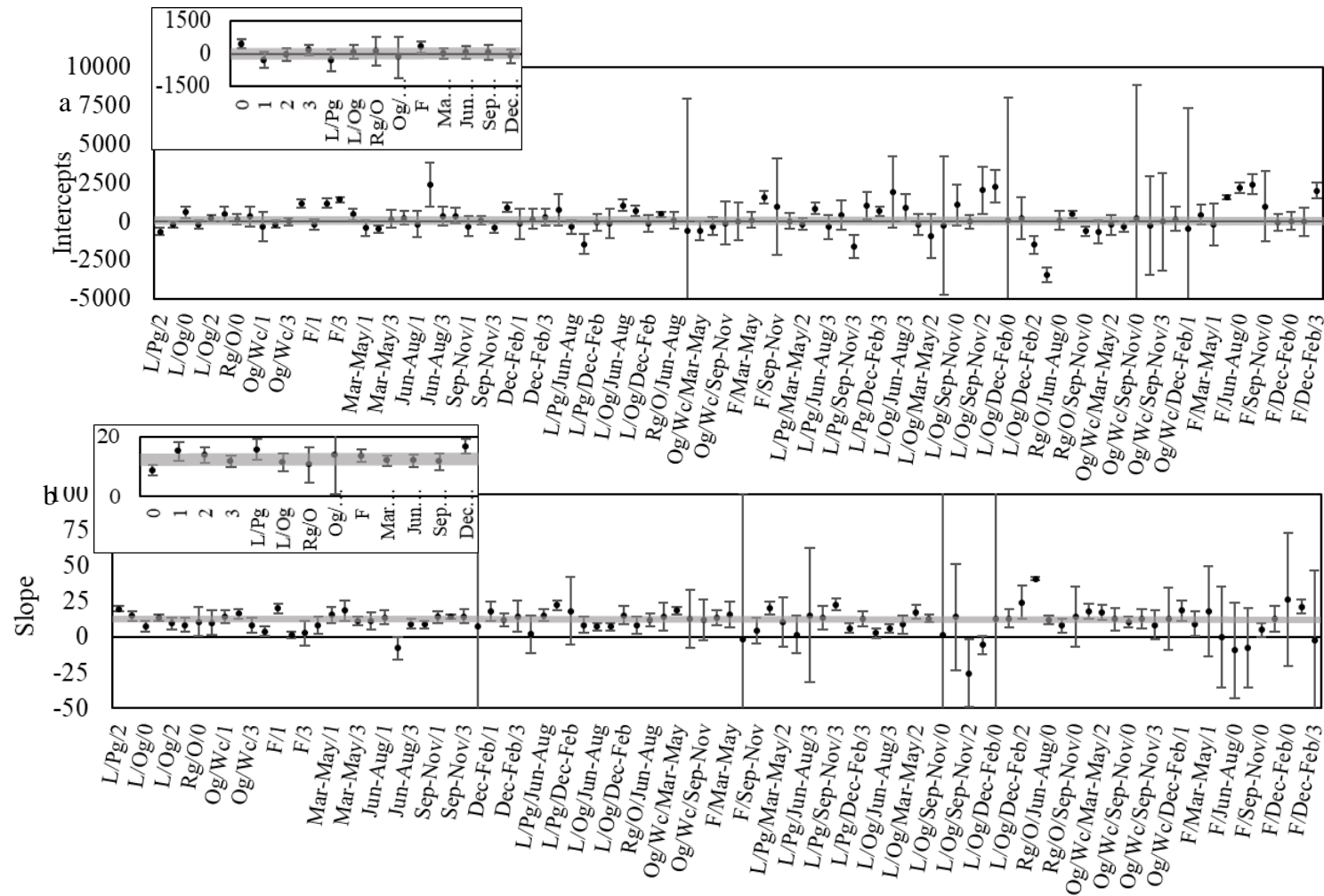


Figure 3: Slopes (a) and intercepts (b), with their respective confidence intervals (error bars), of the single and multiple equations for dry biomass above 5 cm. Inset are the values for simple equations. The grey line indicates the confidence interval of the single equation.

When comparing the single equation vs. the multiple equations, a wide variation in the slope and intercept values was observed. However, 76% of the slopes and 81% of the intercepts did not differ from the values of the single equation ($p < 0.05$, Figure 3).

The high variability in the slope and intercept CI was inversely related to the n included in the fit (Figure 4). The single equation had the highest n (773) and lowest CI (± 1.04 for slope, ± 128 for intercept). The simple equations are built on lower n (between 85 and 289), but the CIs remain relatively low (between ± 1.52 and ± 3.52 for slopes, and between ± 174 and ± 398 for intercepts). In the multiple equations n decreases noticeably (< 100) and the CI increases considerably (between ± 1.48 and ± 106.60 for slopes, and between ± 169 and ± 8605 for intercepts; Figure 4).

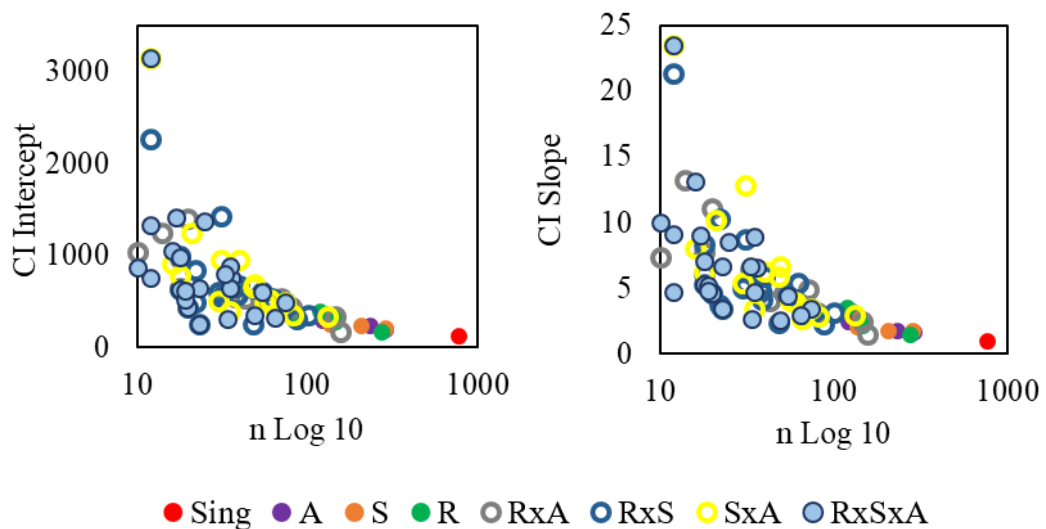


Figure 4: Confidence interval (95%) of slopes (a) and intercepts (b) as a function of the n of the equations (expressed as a log) for dry biomass estimation above 5 cm.

So far, the individual parameters (slope and intercept) of the adjusted equations have been compared. A more comprehensive assessment of how these individual differences impact the shape of the curve will now be made through a CI analysis of the equations. Since the multiple equations did not show any consistent difference in relation to the single equation (76% of slopes and 81% of intercepts did not differ) nor systematic response patterns, the following analysis will concentrate on the

simple equations.

When plotting the CI of the equations by forage resource, an overlap is seen over the entire height range, with the exception of the 'Fescue' forage resource equation, which clearly differs from the rest in the 70-140 mm pasture height range (Figure 5, a). In the case of the equations by age category a contrasting pattern is observed: only the equations "Age 0" and "Age 1" differ for heights greater than 140 mm and less than 70 mm (Figure 5, b). In the season equations, the difference is found in "Summer" for heights greater than 100 mm (Figure 5, c).

The observed pasture height range of commercial farms is completely within the height range in which the fit of the equations was generated, although with very few height records below 70 mm and above 140 mm (Figure 5, d). The pasture height ranges recorded in the three commercial dairy farms show a higher frequency of low heights in August, and increasing heights in the spring months of September and October.

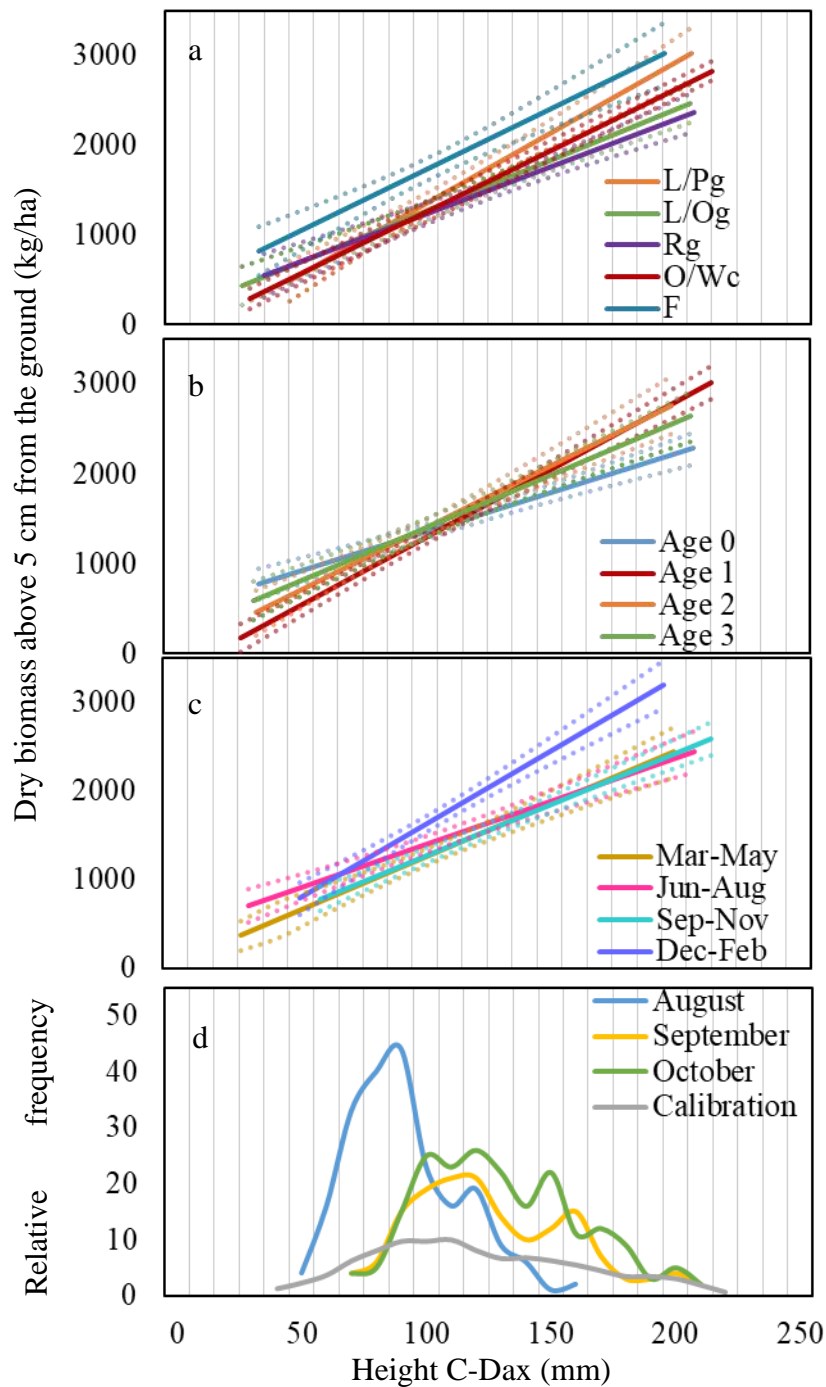


Figure 5. Equations adjusted to the relationship between dry biomass above 5 cm and C-Dax® pasture height (solid lines) according to Forage Resource (a), Age Category (b) and Season (c) with the 95% confidence interval of the equation (dotted lines). Relative frequency histogram of pasture heights in the calibration data and observed in commercial dairy farms (d).

Based on the aforementioned results on the CIs, the original single equation was modified to study if better fits were possible by excluding those variables which showed differences in their CI behavior in the simple equations. Three modifications of the single equation were created, each one excluding one of the following categories: the forage resource "Fescue", the age category "Age 0", and the season "Summer" (Figure 6). In general, although not in all cases, excluding these categories increased the goodness of fit (higher R^2 , lower AIC), but in no case did the slope and intercept values change significantly from the single equation. The only exception was by excluding "Age 0", where the slope increased markedly and almost significantly.

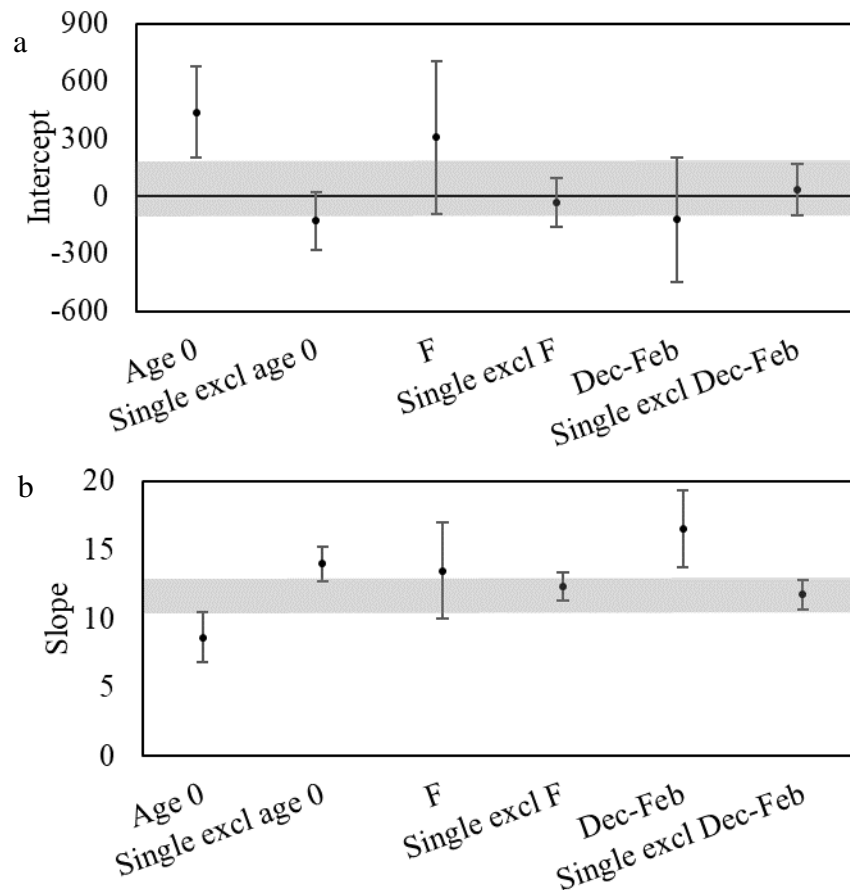


Figure 6: Intercepts (a), slopes (b), and confidence interval (error bars) of the single equation (gray line), the simple equations, and the modified single equations for dry biomass above 5 cm.

Cross validation was used to determine the mean absolute error of prediction of the

different equations. The mean absolute error of the single equation was 468 kg DM/ha. By excluding "Fescue" from the single equation the mean absolute error of prediction decreased by 38 kg DM to 430 kg DM/ha (Figure 7). When only "Fescue" is considered in the simple equation the mean absolute error of prediction increased by 114 kg DM to 582 kg DM/ha. Excluding pastures with "Age 0" from the single equation reduced the generated mean absolute error by only 8 kg DM (Figure 7). However, in this case the simple equation for "Age 0" also decreased the mean absolute error by 40 kg DM from the single equation. Finally, in the evaluation of the mean absolute error of the prediction excluding the "Summer" season from the single equation increased the absolute error of prediction by 10 kg DM/ha. Likewise, the error of the simple equation for "Summer" was also greater than that of the single equation (Figure 7).

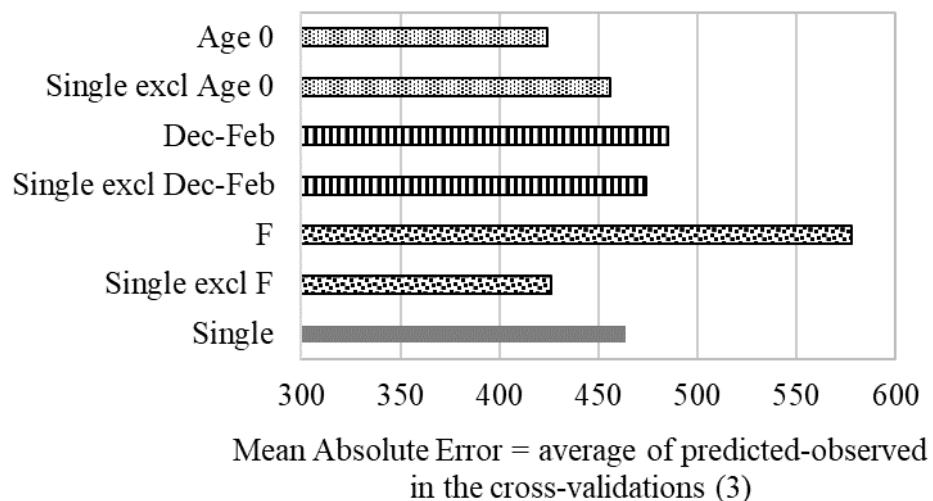


Figure 7: Mean absolute error of the prediction of available dry biomass above 5 cm derived from cross validation for the single equation and for the simple equations excluding the dissimilar category ("Fescue" when grouped by forage resource, "Age 0" when grouped by age category, and "Summer" when grouped by season).

2.6. DISCUSSION

The indirect estimation of forage biomass through height measurement has been extensively reported in the past (t'Mannetie, 2000). Different regression models have been developed for the adjustment of calibration equations. In their review López-

Díaz *et al.* (2011) show that linear models are the most predominant, although in some cases a better fit has been found with nonlinear models. In the current study there was no difference between linear and quadratic models in terms of goodness of fit.

According to López-Díaz *et al.* (2011) the average R^2 of the ruler and sward stick method is 0.72 and 0.69, respectively, although ranging from 0.10 to 0.91 according to forage resource, grazing management and season. For the RPM, which integrates height and density through the measurement of compressed height, these authors report R^2 averages of 0.74, with values ranging from 0.97 to 0.30. In the present work the adjustments between dry biomass and height measured with C-Dax fell in the same wide range reported by López-Díaz *et al.* (2011): R^2 between 0.93 and 0.10 depending on forage resource, season and age, and averaging 0.40 (Figure 4).

Estimating the biomass available above 5 cm showed a better goodness of fit than estimations from ground level. The improvement was rather large for dry biomass, but much less for fresh biomass. This could be due to a high variability of the dry matter content in the forage present of the first cm from the ground. Both green (low dry matter content) and dead material (high dry matter content) are accumulated there. The proportion of each material varies greatly with the season, grazing management and forage resource, among other factors (Curran *et al.*, 2010; Delagarde *et al.*, 2000; Jones *et al.*, 1982). Pérez-Prieto and Delagarde (2013) showed that is possible to precisely allocate forage by estimating biomass above 5 cm from ground level. However, Pérez-Prieto *et al.* (2011) demonstrated that foraging can occur below the 5 cm of height. Hence, biomass estimations above 5 cm would not allow precise measurements of post-grazing residuals.

The issue of low goodness of fit in biomass estimation from ground level appears to be a problem for dry biomass but not for fresh biomass. This relies in the fact that most of fresh biomass is water and dead material contains very little water. Thus, we could think of using height to determine fresh biomass per hectare and, in turn, determine the dry matter content. However, this might not be feasible in practice for

on-farm pasture monitoring, since dry matter determinations demand too much effort and time. The recent development of NIRS equipment that estimates % DM (Bell *et al.*, 2018) if coupled to the C-Dax equipment could be solving this limitation and allowing the use of fresh biomass estimation equations in the future.

King *et al.* (2010) evaluated C-Dax equations accuracy for 5 regions of New Zealand using a dataset of 3,360 cuts. The present study used 773 cuts these authors to develop a single equation, a similar dataset size to the one used by King *et al.* (2010) for each region. Multiple equations with better goodness of fit were obtained by breaking apart the dataset according to forage resource, season and age (Figure 2). However, by lowering the number of cuts (n), the confidence interval dropped to a level that could not be detected as different from the single equation. An intermediate solution turned to be the single equations by forage resource, season and age. Their n allowed for similar confidence intervals as the single equation. From the analysis of these intervals (Figure 4) we could determine that equations built from a minimum n of 70 or 80 cuts can keep similar confidence intervals as the single equation and show even better goodness of fit.

Most previous studies using the C-Dax have been on pastured dominated by *graminae* species (perennial ryegrass, fescue or kikuyu) only including a minor proportion of white clover in some cases (Fariña *et al.*, 2011; Insua *et al.*, 2019; Rombach *et al.*, 2019). A contrasting situation is found in Uruguay where at least two species dominate most pasture swards (Zanoniani, 2010). In the present study, however, only fescue showed a different relationship between height and biomass than the other forage resources, expressed by a higher intercept. This suggests that the vertical density of fescue could be higher than the other resources (Hume and Brock, 1997). Hence, the accuracy can improve by removing fescue from the equation, resulting in a 10% reduction of the prediction error.

"Summer" was the only season that differed from the rest, with an error of 485 kg DM / ha similar to the single equation. However, excluding summer did not improve the precision of the single equation. Some apparent differences in the prediction error

between seasons were observed by King *et al.* (2010). In their study in New Zealand summer had an average error of 394 kg DM / ha although the greatest errors were found in winter with 412 kg DM / ha.

When analyzing the effect of age of pastures, the seeding year (Age 0) differed from the rest. Excluding Age 0 from the single equation reduced the prediction error. The use of different equations for the seeding year than the following years has not been contemplated by the literature. However, this may be important in regions like Uruguay where pastures in implantation represent 20% of dairy farms' total pasture area (Fariña and Chilbroste, 2019).

Only three research studies on fitting prediction equations of dry biomass based on height measured with C-Dax have been published (King *et al.* 2010; Yule *et al.*, 2010; Insua *et al.* 2019). All available equations to predict dry biomass from ground level are shown in Figure 8 in order to compare them with the results of the current study.

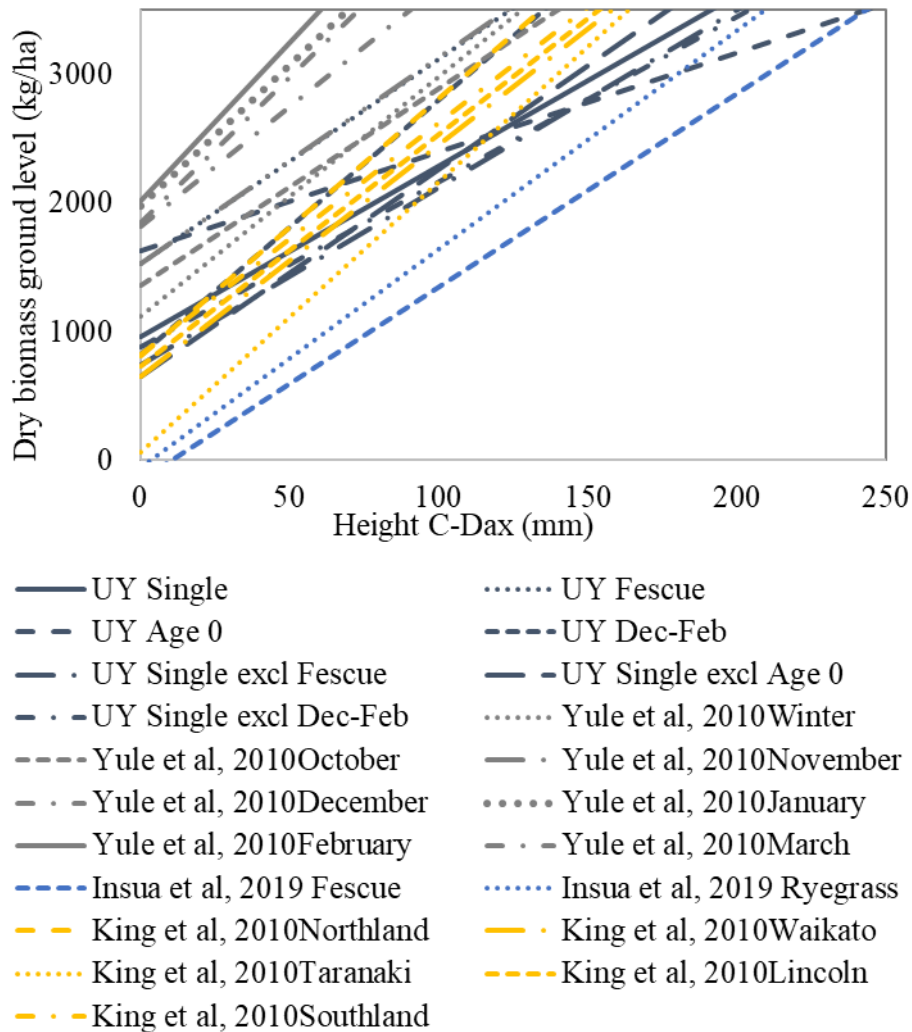


Figure 8: Equations for predicting dry biomass from soil level (kg DM/ha), according to the manual Yule *et al.* (2010), King *et al.* (2010) and Insua *et al.* (2019) and the present work.

The manual equations cited by Yule *et al.* (2010) show seasonal effects and predict biomass values higher than the other works, including ours, on the other hand. The equations generated by Insua *et al.* (2019) show effects of the forage species and predict biomass values consistently lower than the other works, including ours. The equations by King *et al.* (2010) show regional effects and predict intermediate values. The age of pasture was not evaluated in any of these studies, whereas here it showed a clearly higher intercept and lower slope for the seeding year. In our work the single equation predicts biomass values similar to those of King *et al.* (2010) in

the range 40 - 120 mm and lower than those authors above 120 mm.

From the scarce literature available it does not appear to arise a common pattern regarding which is the factor dominating the relationship between height and dry biomass. The differences among equations is usually higher than the prediction's mean absolute error found in this study (approximately 400 kg DM/ha) or by King *et al.* (2010) (mean error 338 kg DM/ha). This finding emphasizes the need for local calibrations when using C-Dax for on-farm monitoring. In Uruguay in particular pastures appear to show a trend for lower biomass accumulation as height increases, which implies lower slopes. This could be explained by the variations in the weight and density of tillers. Fescue, for instance, accumulates proportionately more biomass near the stem than other species like perennial ryegrass (Hume and Brock 1997).

The C-Dax pasturemeter can be utilised for monitoring grazing platforms of large-scale commercial or experimental farms with the calibrations developed in this study, including a wide range of pasture types, ages and seasons and covering all the range of heights. The general fit for the single equation (0.45) is considered acceptable given the heterogeneity of local pasture swards and the mean error (464 kg DM/ha) is similar to the findings of King *et al.* (2010).

2.7. CONCLUSION

The C-Dax pasturemeter can be utilised for the prediction of pasture biomass from height measurements on grazing platforms of diverse pastures such as the ones predominant in Uruguay's dairy farms. This study showed that local calibration equations have better fit when estimating dry biomass above 5 cm from ground level. Fescue appears to have an effect worth considering among the forage resources evaluated. Considering a particular equation for the sowing year of pastures also showed to be important.

For future calibration studies of height measuring tools this work might contribute by

having approximated the minimum sample size needed. In addition, the encouraging fit found between height and fresh biomass could be of interest for the future development new monitoring devices.

2.8. REFERENCES

- AOAC. 1980. Official methods of analysis. 13th edition. Washington, DC. USA: Association of Official Analytical Chemists.
- Bell MJ, Mereu L, Davis J. 2018. The Use of Mobile Near-Infrared Spectroscopy for Real-Time Pasture Management. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00076>
- Cangiano C, Brizuela M. 2011. Cómo evaluar la pastura. In: *Producción animal en pastoreo*. 2011. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria Balcarce, Área de Producción Animal. Balcarce, Buenos Aires, Argentina. 237-258.
- Curran J, Delaby L, Kennedy E, Murphy JP, Boland TM, O'Donovan M. 2010. Sward characteristics, grass dry matter intake and milk production performance are affected by pre-grazing herbage mass and pasture allowance. *Livestock Science*. 127: 144–154. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.09.004>
- Delagarde R, Peyraud JL, Delaby L, Faverdin P. 2000. Vertical distribution of biomass, chemical composition and pepsin-cellulase digestibility in a perennial ryegrass sward: Interaction with month of year, regrowth age and time of day. *Animal Feed Science and Technology*. 84: 49–68. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(00\)00114-0](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(00)00114-0).
- Dillon P, Roche JR, Shalloo L, Horan B. 2005. Optimising financial return from grazing in temperate pastures. En: *Proceedings of a satellite workshop of the XXth International Grassland Congress (20^o, 2005)*. Utilisation of grazed grass in temperate animal systems. Cork, Ireland. J.Murphy (ed.). 131-147.

- Fariña SR, Chilibróste P. 2019. Opportunities and challenges for the growth of milk production from pasture: The case of farm systems in Uruguay. *Agricultural Systems*. 176, 102631. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.05.001>
- Fariña S, Tuñón G, Pla M, Martínez R. 2017. Sistema de manejo de pastoreo la estanzuela. Guía práctica para la implementación de un sistema de pastoreo. Montevideo, INIA. 24. (INIA Boletín de Divulgación; 115)
- Fariña SR, García SC, Fulkerson WJ, Barchia IM. 2011. Pasture-based dairy farm systems increasing milk production through stocking rate or milk yield per cow: Pasture and animal responses. *Grass and Forage Science*. 66, 316–332. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2011.00795.x>
- Grigera G. 2011. Seguimiento de la productividad forrajera mediante teledetección: desarrollo de una herramienta de manejo para sistemas de producción ganaderos. Tesis Doctor en Ciencias Agropecuarias. Buenos Aires, Argentina. Facultad de Agronomía. 109.
- Hakl J, Hrevušová Z, Hejcman M, 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. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2012.00886.x>.
- Hall A, Turner L, Kilpatrick S. 2019. Understanding Tasmanian dairy farmer adoption of pasture management practices: a Theory of Planned Behaviour approach. *Animal Production Science*. 59(10): 1941–1950. <https://doi.org/10.1071/AN18321>.
- Hanrahan L, McHugh N, Hennessy T, Moran B, Kearney R, Wallace M, Shalloo L. 2018. Factors associated with profitability in pasture-based systems of milk production. *Journal of Dairy Science*. 101: 5474–5485. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13223>.
- Holmes CW, Roche JR. 2007. Pastures and supplements in dairy production systems.

In: Dairy production systems Rattray. P.V., Brookes I.M. and Nicol A.M. ed. Pasture and supplements for grazing animals. New Zealand Society of Animal Production. 221–242.

Hume DE, Brock JL. 1997. Morphology of tall fescue (*Festuca arundinacea*) and perennial ryegrass (*Lolium perenne*) plants in pastures under sheep and cattle grazing. Journal of Agricultural Science. 129: 19–31. <https://doi.org/10.1017/S0021859697004401>

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

Jones MB, Collett B, Brown S. 1982. Sward growth under cutting and continuous stocking managements: sward canopy structure, tiller density and leaf turnover. Grass Forage Science. 37: 67–73. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1982.tb01578.x>.

King WM, Rennie GM, Dalley DE, Dynes R, Upsdell MP. 2010. Pasture Mass Estimation by the C-DAX Pasture Meter: Regional Calibrations for New Zealand. 4th Australasian Dairy Science Symposium. 233–238.

López-Díaz JE, Roca-Fernández AI, González-Rodríguez A. 2011. Measuring Herbage Mass by Non-Destructive Methods: A Review. Journal of Agricultural Science and Technology. 1: 303–314.

Montossi F. 2013. Invernada de precisión: pasturas, calidad de carne, genética, gestión empresarial e impacto ambiental (GIPROCAR II). Montevideo, INIA. 188. (Serie Técnica no. 211)

Nakagami K, Itano S. 2014. Improving pooled calibration of a rising-plate meter for estimating herbage mass over a season in cool-season grass pasture. Grass Forage Science. 69: 717–723. <https://doi.org/10.1111/gfs.12070>.

- O'Donovan M, Dillon P, Rath M, Stakelum G. 2002. A comparison of four methods of herbage mass estimation. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*. 41: 17–27.
- Otero A, Castro M. 2019. Variabilidad climática y producción estacional de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en el suroeste de Uruguay. *Agrociencia Uruguay* 23: 1–11. <https://doi.org/10.31285/agro.23.1.9>.
- Oudshoorn FW, Hansson SL, Hansen HH. 2011. Calibration of the C-Dax Pasture Meter in a Danish grazing system. *Grassland Science in Europe*. 16: 166–168.
- Pérez-Prieto LA, Delagarde R. 2013. Meta-analysis of the effect of pasture allowance on pasture intake, milk production, and grazing behavior of dairy cows grazing temperate grasslands. *Journal of Dairy Science*. 96(10): 6671-6689. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6964>.
- Pérez-Prieto LA, Peyraud JL, Delagarde R. 2011. Pasture intake, milk production and grazing behaviour of dairy cows grazing low-mass pastures at three daily allowances in winter. *Livestock Science*. 137: 151–160.
- Rennie GM, King WM, Puhá MR, Dalley DE, Dynes RA, Upsdell MP. 2009. Calibration of the C-DAX Rapid Pasturemeter and the rising plate meter for kikuyu-based Northland dairy pastures. In: *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*. 71: 49-55.
- Rombach M, Südekum KH, Münger A, Schori F. 2019. Herbage dry matter intake estimation of grazing dairy cows based on animal, behavioral, environmental, and feed variables. *Journal of Dairy Science*. 102(4): 2985-2999. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2018-14834>.
- Sanderson MA, Rotz CA, Fultz SW, Rayburn EB. 2001. Estimating forage mass with a commercial capacitance meter, rising plate meter, and pasture ruler. *Agronomy Journal*. 93(6): 1281-1286.

- t Mannetje L. 2000. Measuring biomass of grass- land vegetation. In: LtMannetje y RM. Jones (eds). Field and laboratory methods for grassland and animal production research and animal production research. CABI Publishing, University Press, Cambridge, UK.151-177.
- Yule IJ, Lawrence H'G, Murray RI. 2010. Pasture yield measurement with the C-Dax pasture meter. In: 10th International Conference on Precision Agriculture (ICPA), Denver, Colorado, USA.
- Zanoniani RA. 2010. Estado actual del conocimiento en producción de pasturas, brecha tecnológica. *Agrociencia*. 14(3): 26-30.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el estudio descrito en el capítulo central de esta tesis se pudo determinar la exactitud en la estimación de biomasa de pastura a nivel de predio y los factores que la afectan a través de una herramienta de medición de altura de la pastura. En esta sección discutiremos, por un lado, los resultados obtenidos a la luz de la bibliografía existente y, por otra parte, cuáles podrían ser las implicancias del uso de esa herramienta en predios comerciales. Para discutir este último punto, nos valdremos de un trabajo de monitoreo realizado en predios comerciales durante el transcurso del experimento central de esta tesis.

3.1. CALIBRACIÓN DEL C-DAX

El ajuste en las ecuaciones de calibración del C-Dax se ubicó entre 0,93 y 0,1 dependiendo del recurso, estación, edad y las interacciones de estos parámetros. Sin embargo, la ecuación única, que agrupa el total de los datos (773), logra un ajuste de 0,4 (Anexo 1). Los trabajos reportados de calibración de C-Dax son escasos. De acuerdo a trabajos de calibración de Lyons (2007) y Oudshoorn *et al.* (2011) se logran ajustes buenos para alfalfa, cebadilla, raigrás y raigrás con trébol blanco (0,87, 0,69, 0,85, 0,83), y moderados a bajos para kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) (0,17). Sin embargo, ambos autores realizaron el trabajo de calibración en una solo estación del año (otoño o primavera) y con un set de datos relativamente acotado (n=30) en el caso de (Lyons, 2007). Loaiza *et al.* (2012) también lograron obtener un ajuste bueno (0,7), y si bien su calibración fue con 529 datos, los cortes fueron realizados sólo durante la estación de otoño y el recurso calibrado fue un raigrás anual, distante de las mezclas de especies evaluadas en esta tesis. En otros trabajos de la bibliografía que presentan ecuaciones de calibración (Insua *et al.*, 2019; Heublein *et al.*, 2017) y los ajustes respectivos, no se determina la metodología y el periodo de calibración. No se reportaron tampoco los ajustes alcanzados en las calibraciones de esta herramienta realizadas para raigrás perenne en Nueva Zelanda (King *et al.*, 2010) que se basaron en un alto número de cortes (768) en cinco regiones. En síntesis, en este trabajo se alcanzaron ajustes intermedios (0,4) a lo

reportado en la bibliografía para esta herramienta pero cubriendo la totalidad del ciclo productivo, lo que brinda mayor espectro y seguridad en el uso de la herramienta. Por otra parte, este trabajo es el primero que reporta calibraciones, con su metodología y ajuste, para pasturas que incluyen festuca y dactylis.

La estimación de forraje con otras herramientas (López-Díaz *et al.*, 2011) como lo son RPM, la regla y el “HFRO sward stick” tienen ajustes moderados a buenos 0,74, 0,72 y 0,69, respectivamente. No obstante, los trabajos reportados por López-Díaz *et al.* (2011) no indican el n de datos de corte utilizado en las calibraciones. López-Guerrero *et al.* (2011) en su estudio con el RPM y el bastón de capacitancia, con un set de datos de 240 mediciones para cada herramienta obtiene ajustes entre 0,82, 0,93 y 0,73, 0,90, respectivamente. En el presente estudio se alcanzaron ajustes moderados, pero con un amplio set de datos (n=768), cubriendo todo el ciclo anual de la pastura, y con 5 recursos calibrados en conjunto. Por otra parte, es posible que en los sistemas pastoriles de Uruguay existan factores de heterogeneidad de la pastura relacionados a variaciones de clima y suelo y su efecto sobre las plantas. Estas variaciones se pueden dar tanto en el tiempo (Otero y Castro, 2019) como en el espacio (Errecarte *et al.*, 2018).

Las ecuaciones de estimación de la biomasa del forraje por encima de los 5 cm del nivel de suelo desarrolladas en esta tesis mejoran la bondad del ajuste con respecto a estimaciones al ras del suelo. Si bien la mejora fue notoria para biomasa seca, no lo fue así para biomasa fresca. Estas diferencias son atribuibles a la mayor variabilidad en los primeros cm de las pasturas, donde se da una mayor acumulación de material fresco y seco. Este material de la base de la pastura está compuesto por hojas y tallos que varían en su proporción y contenido de humedad según la época del año, el estado fisiológico, el manejo del pastoreo y el tipo recurso (Curran *et al.*, 2010; Delagarde *et al.*, 2000; Jones *et al.*, 1982). Es común que las mediciones de disponible para asignación de forraje en países como Nueva Zelanda, Australia y Argentina se realicen al ras del suelo (Holmes *et al.*, 1992; Wales *et al.*, 1999). Sin embargo, en algunos países pastoriles europeos, como Francia e Irlanda, las estimaciones de biomasa de pastura se realizan a diferentes alturas por sobre el nivel

del suelo (Ribeiro Filho et al., 2003; Pérez-Prieto et al., 2011). Pérez-Prieto y Delagarde (2013) demostraron que es posible la asignación de forraje de forma precisa estimando su disponibilidad sobre los 5 cm. Sin embargo, Pérez-Prieto et al., (2011) indican que el consumo animal podría darse por debajo de los 5 cm. Por lo tanto, la estimación sobre los 5 cm no permitiría la determinación precisa de biomasa remanente post-pastoreo y estos autores concluyen que estimaciones de biomasa desde los 2,5 cm sobre el nivel del suelo permiten un buen compromiso entre ambos objetivos. Por estos motivos las ecuaciones aquí desarrolladas no son recomendables para estimar consumo animal en pastoreo (o desaparecido) en experimentos de corta duración.

Como fue discutido, el efecto de la altura de corte sobre el ajuste alcanzado puede variar si se trata de biomasa seca o biomasa fresca. Para esta última, se pueden lograr buenos ajustes con C-Dax incluso cuando la estimación de forraje se hace desde el nivel suelo. No se han reportado a la fecha trabajos de calibración de pastura que utilicen biomasa fresca como variable de estudio. Desde el punto de vista de la implementación a campo, la necesidad de estimación del contenido de agua de la pastura ocasionaría dificultades prácticas en el uso del C-Dax al momento de convertir los valores de biomasa fresca a biomasa seca. Para resolver esta limitante podría explorarse el uso de los equipos NIRS que estiman % MS (Bell *et al.*, 2018) para ser acoplados al C-Dax permitiendo entonces la utilización de ecuaciones de estimación con biomasa fresca.

En análisis de ecuaciones por recurso, festuca es la única especie que presenta una relación biomasa-altura diferente, marcada por un mayor intercepto. Esto podría tener relación con la acumulación y la densidad del forraje que festuca tiene en los primeros cm desde el suelo (Hume y Brock 1997). Sin embargo, el error de predicción no amerita la utilización de una ecuación diferente a la única en el caso de festuca. Para los restantes recursos se logra una leve mejora en la precisión excluyendo a festuca de la ecuación única.

Con respecto a las estaciones, verano es la única estación que muestra una relación

altura/biomasa diferente a las otras, y esto se expresa en alturas de la pastura por encima de los 100 mm. Sin embargo, esta diferencia se dió solo en la pendiente, no en el intercepto. No obstante, la exclusión del verano no mejora la precisión de la ecuación única. Lo hallado coincide con lo descrito por Rennie *et al.* (2009) en la isla norte de Nueva Zelanda, quienes encontraron fuertes diferencias estacionales en las estimaciones con C-Dax. También en ese trabajo, los errores eran mayores en verano, con sobrestimaciones de hasta 1000 kg. MS/ha, y menores en el invierno. En el trabajo realizado por King *et al.* (2010) calibrando el C-Dax para diversas regiones de Nueva Zelanda se observan diferencias aparentes entre estaciones en el error de la predicción, sin embargo, los autores no describen tales diferencias.

En las ecuaciones por edad, el año de implantación de la pastura (edad 0) se diferencia del resto en la predicción. Esas diferencias se dan a partir de 140 mm de altura sobre el suelo, prediciendo valores más bajos que para pasturas con más de un año de vida. Esto podría explicarse por la ausencia de estructuras reproductivas en las pasturas en su primer año de implantación. Considerar el uso de una ecuación específica para recursos forrajeros en etapas tempranas puede ser importante, debido a que en Uruguay las pasturas en implantación representa un 20% del área total dependiendo de la perennidad de las pasturas (Fariña y Chilibróste, 2019).

3.1. VALIDACIÓN EN PREDIOS COMERCIALES

Para que esta herramienta permita una correcta toma de decisiones, debe permitir la estimación de forraje a nivel de toda la plataforma de pastoreo durante todo el año. Esto implica la integración de distintas especies, edades, estados fenológicos y alturas de rebrote en un mismo momento de medición. En esta sección discutiremos los alcances y aplicabilidad de las calibraciones desarrolladas a partir de la información del monitoreo de biomasa en las plataformas de pastoreo de 3 predios comerciales y 1 predio experimental realizados durante 3 meses del estudio de calibración. En los predios monitoreados los verdes de invierno representaban el 35 % (entre 41-32%) de la superficie efectiva de pastoreo y las praderas permanentes el 70 % (entre 68-74%). Los recursos forrajeros utilizados fueron similares en los

predios comerciales monitoreados y en el predio experimental de la calibración. En los predios comerciales, las praderas en las que predomina alfalfa o festuca representaron un 56% del área, aunque hubo un componente relativamente importante (20%) de pasturas mezclas de varias especies. En el predio experimental de Estanzuela las praderas de alfalfa representaban el 50% del área y las de festuca el 31%.

Las praderas en su año de implantación y durante el primer año en producción, representaban entre el 14 y el 25 % de la superficie efectiva de pastoreo de cada uno de los predios comerciales. Sumando a esta área la superficie de verdeos se puede observar que entre el 46 y el 60 % de la superficie efectiva de pastoreo, tanto de sistema comerciales como experimentales, no pertenece a la categoría de praderas en producción de 2 o más años. Esto implica que, de realizarse calibraciones de herramientas de medición de biomasa para toda la plataforma de pastoreo, deberán ser capaces de estimar con buena precisión verdeos y pasturas en implantación o primero año. Esto refuerza lo sugerido anteriormente en el estudio de calibración a la luz de la bibliografía internacional y es una característica particular de los sistemas de producción de leche de Uruguay y la región, con menor persistencia de pasturas que en otras regiones pastoriles del mundo. En Nueva Zelanda, por ejemplo, en un relevamiento realizado por Kelly *et al.* (2011) se reportó que la mayor parte de los productores renovaban anualmente el 10% del área. Rijswijk y Brazendale (2016) observaron que dichos productores tenían una expectativa de persistencia de 11 años para sus pasturas. En Irlanda, la persistencia esperada para las pasturas predominantes es de 12 años (O'Donovan *et al.*, 2017). Este contraste refuerza la necesidad de desarrollar calibraciones locales ajustadas a las características de los sistemas de producción de nuestra región.

La escalera de disponibilidad de forraje medida a través de la altura con el C-Dax para los potreros en las plataformas de pastoreo puede reflejar el nivel de control en el manejo de pastoreo que se realiza en el predio. Este indicador brinda una imagen completa de la situación de disponibilidad de los potreros al momento de la recorrida, desde los próximos disponibles pre-pastoreo, hasta los recientes

remanentes post-pastoreo, pasando por todas las situaciones intermedias. Esta herramienta se utiliza para tomar decisiones semanales de pastoreo (Fariña *et al.*, 2017). Cualquier herramienta que se utilice para estimar biomasa en una plataforma de pastoreo debe ser capaz de estimar con precisión un rango de diferentes alturas o estados de rebrote. En los predios comerciales monitoreados se observó que los rangos de alturas en cada recorrida se encuentran entre 45 mm y 213 mm (Figura 1). Se observa que la altura mínima la cual puede tomarse como un indicador del control de las situaciones post pastoreo o remanente, varía según los meses. También varían, y en un rango mayor, las alturas máximas, que pueden reflejar las biomásas de potreros para ingreso a pastorear, aumentando a medida que se ingresa en la primavera, tanto en los predios comerciales como en el experimental. Esta tesis ha desarrollado ecuaciones que permiten estimar biomasa en este amplio rango de alturas encontradas en los predios.

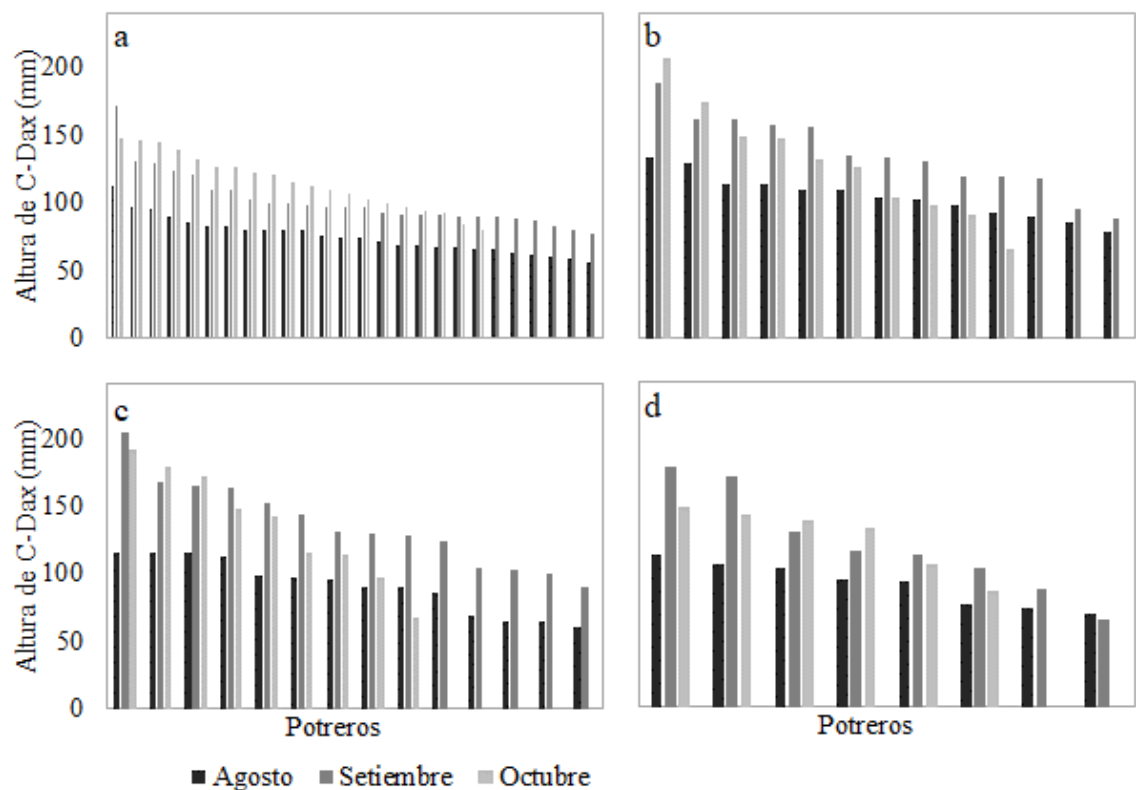


Figura 1. Altura de pastura medida con C-Dax en la primera recorrida de cada mes sobre la totalidad de la superficie efectiva de pastoreo de tres predios comerciales (a, b, c) y en un predio experimental (d).

El C-Dax es una herramienta que nos permite determinar el grado de control sobre el pastoreo que existe en un sistema mediante la medición de la variación semanal de “stock” en las plataformas de pastoreo (Fariña *et al.*, 2017). El nivel de stock promedio de la superficie efectiva de pastoreo, se calcula como el promedio de la biomasa de pasturas por potrero en un momento dado. Este indicador refleja directamente el balance entre la tasa de consumo y la tasa de crecimiento del pasto promedio de la superficie efectiva de pastoreo, ambos expresados en kg MS/ha/día. Para lograr un manejo controlado es deseable mantener un stock objetivo, en el predio experimental este fue de 1000 kg MS/ha, logrando así ingresar al pastoreo con suficiente calidad (evitando excesivo crecimiento acumulado y senescencia) y sin perjudicar el potencial de crecimiento (evitando el sobre-pastoreo o una rotación

demasiado acelerada). En este trabajo los predios comerciales mantuvieron un stock promedio de 1363 kg MS/ha mientras que el predio experimental lo mantuvo en 1078 kg MS/ha (Figura 2; i), sin embargo, el mismo fue variando a lo largo del periodo de medición de tres meses. Ambos tipos de predios implementaron la práctica de aumento de carga (Figura 2; iii) a medida que aumentaba la tasa de crecimiento (Figura 2; ii) a fines de evitar un aumento excesivo del stock promedio de la plataforma. El aumento de carga permite aumentar la tasa de consumo por hectárea para contrarrestar el aumento en la tasa de crecimiento y mantener el balance buscado. En esa época del año, el aumento de carga generalmente se logra a partir de una reducción de la superficie efectiva de pastoreo, destinando una porción de esa área para confección de reservas (Figura 2; iii). Todos los predios evaluados realizaron tal ajuste en el mes de septiembre, tras el aumento en la tasa de crecimiento (Figura 2; ii) para mantener el sistema en control. Sin embargo, se puede ver que los sistemas comerciales realizaron un ajuste un poco más tarde y en menor magnitud (Figura 2; i) comparado con el predio experimental, que ya tenía una carga mayor al inicio (aproximadamente 1 animal más por hectárea). Como consecuencia los predios b y c, en particular, tuvieron probablemente un exceso de pasto que se ve reflejado en un stock 300 a 400 kg MS/ha por encima de su promedio durante todo el mes de septiembre.

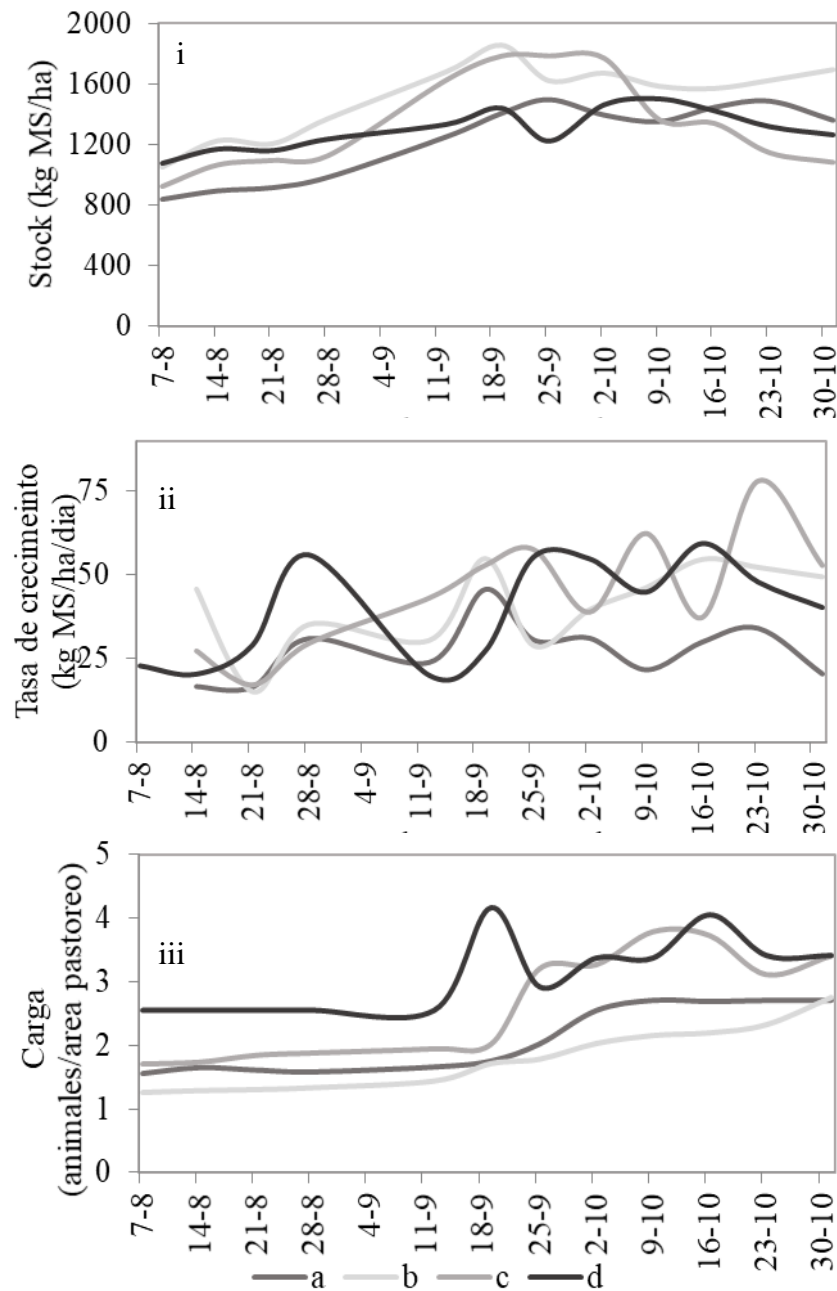


Figura 2. Evolución del stock (kg MS/ha) (i), tasa de crecimiento (kg MS/ha/día) (ii), carga (animales/superficie de pastoreo) (iii), por predio comercial (a, b, c) y el en predio experimental (d), durante el periodo agosto-octubre 2018.

Más allá de la exactitud, precisión y representatividad, las herramientas de estimación de forraje deben ser adaptables a las necesidades de los productores. Eastwood y Dela Rue (2017) cuantificaron y describieron los atributos requeridos

por los productores neozelandeses en sistemas pastoriles para herramientas de estimación de forraje. Algunas de esos atributos son concordantes con lo observado en este trabajo en el C-Dax para las condiciones locales. Por un lado, destacan la necesidad de adaptabilidad de la herramienta para su uso en todas las estaciones de crecimiento de la pastura. Por otra parte, mencionan el suministro de la medición de forma inmediata a medición, y de forma compatible para utilizarlo en cualquier software de manejo de pastoreo. Para esto, el C-Dax, en esta herramienta el presente trabajo tiene una calibración regional es el primero a nivel regional, que plantea una calibración en condiciones locales, abarcando las diversas situaciones de especies, estaciones, edades y situaciones de las pasturas. Una de las virtudes que tiene esta herramienta es la rapidez con que se logran realizar las mediciones. En condiciones locales, durante el monitoreo de predios comerciales se logró realizar en promedio 50 hectáreas por hora, lo que supera ampliamente las expectativas planteadas por los productores de Nueva Zelanda (2-3 hr cada 100 ha).

En base al monitoreo de los predios comerciales de esta tesis se pueden mencionar algunos aspectos particulares relacionados al uso del C-Dax para realizar monitoreos. Uno de ellos es el estado y mantenimiento de la caminería interna de los predios, especialmente en épocas de exceso hídrico. Si bien el equipo es de fácil transporte, malas condiciones de la caminería pueden representar una dificultad o fuente de demoras para la utilización del C-Dax. Localmente, la dependencia de un proveedor extranjero para su reparación y mantenimiento es un factor que puede generar demoras en las mediciones y aumento de los costos de uso.

4. CONCLUSIONES

El pasturometro C-Dax puede ser utilizado para la predicción de biomasa disponible de pastura a través de mediciones de altura sobre plataformas de pastoreo con diferentes tipos de pasturas, como es el caso de tambos pastoriles de Uruguay. En las calibraciones realizadas se alcanzó un error medio absoluto de 468 kg MS/ha, similar a los estudios reportados en otros países, trabajando solo con pasturas de raigrás perenne.

El mejor ajuste de las ecuaciones se logró con estimaciones de biomasa seca por encima de los 5 cm sobre el nivel del suelo. Esto podría tener limitantes para determinaciones de remanentes a nivel experimental.

No habría ventajas de usar ecuaciones simples por especie. Sin embargo, festuca presenta un comportamiento diferente al resto de los recursos, y los ajustes mejoran cuando se excluye esta especie de la ecuación general. Por otro lado, también para el año de implantación debería utilizarse una ecuación específica.

Este trabajo contribuye a la realización futura de otros estudios de calibración en pasturas habiendo determinado un tamaño mínimo de muestra necesario para alcanzar los ajustes requeridos, que en este estudio fue de 85 muestras. De forma adicional, el auspicioso nivel de ajuste encontrado entre biomasa fresca y biomasa seca puede ser de interés para el futuro desarrollo de dispositivos de monitoreo de pasturas.

Esta herramienta puede ser usada en predios de escala comercial, habiendo demostrado en este trabajo haber superado las expectativas de tiempo requerido para su uso y permitido captar los efectos de cambios en el manejo sobre las plataformas de pastoreo.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Berone GD, Sardiña MC, Moot DJ. 2020. Animal and forage responses on lucerne (*Medicago sativa* L.) pastures under contrasting grazing managements in a temperate climate. *Grass and Forage Science*. 75 (2): 192-205. <https://doi.org/10.1111/gfs.12479>
- Bisio A, Larripa M, Galli J, Cangiano C. 2001. Comparación de metodologías para estimar fitomasa aérea en pasturas cultivadas. *Revista Argentina de Producción Animal*. 21 (1): 101-103.
- Brown HE, Moot DJ, Teixeira EI. 2005. The components of lucerne (*Medicago sativa*) leaf area index respond to temperature and photoperiod in a temperate environment. *European Journal of Agronomy*. 23 (4): 348-358.
- CONAPROLE (Cooperativa Nacional de Productores de Leche). 2019. Seguimiento Forrajero Satelital. Portal productores de leche. [En Línea]. 20 diciembre 2019. <http://www.eleche.com.uy/cooperarios/productores-seguimiento-forrajero-satelital?es>
- Delagarde R, Peyraud JL, Delaby L, Faverdin P. 2000. Vertical distribution of biomass, chemical composition and pepsin-cellulase digestibility in a perennial ryegrass sward: Interaction with month of year, regrowth age and time of day. *Animal Feed Science and Technology*. 84: 49–68. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(00\)00114-0](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(00)00114-0).
- DIEA (Dirección de Estadísticas Agropecuarias). 2019. Producción animal. [En Línea]. En: Anuario Estadístico Agropecuario 2019. Montevideo. MGAP (Ministerio de ganadería Agricultura y Pesca). Consultado 25 de mayo 2020. <https://descargas.mgap.gub.uy/DIEA/Anuarios/Anuario2019/Anuario2019.pdf>
- DIEA (Dirección de Estadísticas Agropecuarias). 2015. Producción animal. [En Línea]. En: Anuario Estadístico Agropecuario 2015. Montevideo. MGAP (Ministerio de ganadería Agricultura y Pesca). Consultado 25 de mayo 2020.

<http://www2.mgap.gub.uy/DieaAnterior/Anuario2015/DIEA-Anuario2015-01web.pdf>

Eastwood C, Dela Rue B. 2017. Identification of operational performance attributes for pasture measuring devices. *Journal of New Zealand Grasslands*. 79: 211-216.

Errecarte E, Fariña S, Cajerville C, Dieguez F. 2018. Variabilidad del suelo a nivel de potrero en tambo: su efecto sobre la producción de biomasa de pastura: reporte inicial de resultados. En: VI Congreso de la Asociación Uruguaya de Producción Animal. 175

FAO. 2016. El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2016: Cambio climático, agricultura y seguridad alimentaria. [En Línea]. Consultado 19 de junio 2019. <http://www.fao.org/3/a-i6030s.pdf>

Fulkerson WJ, Donaghy DJ. 2001. Plant-soluble carbohydrate reserves and senescence-key criteria for developing an effective grazing management system for ryegrass-based pastures: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 41(2): 261-275.

Guaita M, Fernández H, Gagliostro G, Cendoya M. 2000. Calibración de un pasturómetro en una pastura de alfalfa. *Revista Argentina de Producción Animal*. 20 (1): 183.

Haydock KP, Shaw NH. 1975. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 15 (76): 663-670.

Heublein C, Südekum KH, Gill FL, Dohme-Meier F, Schori F. 2017. Using plant wax markers to estimate the diet composition of grazing Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 100 (2): 1019-1036. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11494>.

- Holmes CW, Hoogendoorn CJ, Ryan MP, Chu ACP. 1992. Some effects of herbage composition, as influenced by previous grazing management, on milk production by cows grazing on ryegrass/white clover pastures. I. Milk production in early spring: Effects of different regrowth intervals during the preceding winter period. *Grass Forage Science*. 47: 309–315.
- IFCN (International Fact-Checking Network). 2016. IFCN Long-term Dairy Outlook. The IFCN Vision of the dairy world in 2025. [En Línea]. Consultado 4 de junio de 2019. http://agricultura.gencat.cat/web/.content/de_departament/de02_estadistiques_observatoris/27_butlletins/02_butlletins_nd/documents_nd/fitxers_estatics_nd/2016/0182_2016_SProductius_Llet_Prospectiva-2025-mon.pdf.
- INALE (Instituto Nacional de la Leche). 2014. Encuesta Lechera INALE 2014 - Resultados preliminares. [En Línea]. Consultado el 5 de enero de 2020. <https://www.inale.org/estadisticas/>.
- INASE (Instituto Nacional de Semilla), 2020. Resumen declaraciones movimientos de semilla 2005-2019. [En Línea]. Consultado 25 de marzo de 2020. <https://www.inase.uy/Estadistica/>.
- Intxusta Irisarri J, Brizuela M, Fernández H, Guaita M, Cid M. 2007. Estimación de acumulación de forraje durante el rebrote de una pastura mediante un pasturómetro. *Revista Argentina de Producción Animal*: 30: 130-131.
- Kelly S, Smith E, Brazendale R. 2011. Pasture renewal in the Waikato and Bay of Plenty regions: An overview of farmer practice, experience and attitudes. *Grassland Research and Practice Series-Pasture Persistence*. 15: 21-24.
- Lazzarini B, Baudracco J, Tuñón G, Gastaldi L, Lyons N, Quattrochi H, Lopez-Villalobos N. 2019. Milk production from dairy cows in Argentina: Current state and perspectives for the future. *Applied Animal Science*. 35(4): 426-432. <https://doi.org/10.15232/aas.2019-01842>.

- Loaiza P, Pérez CA, Balocchi O, Casas F, Cussen R. 2012. Estimación de la fitomasa presente en praderas de *Lolium perenne* L. mediante el C-Dax pasture meter® en el sur de Chile. In: XXXVII Congreso anual sociedad chilena de producción animal. 175.
- López-Guerrero I, Fontenot J, García-Peniche T. 2011. Comparaciones entre cuatro métodos de estimación de biomasa en praderas de festuca alta. En: Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias: 2 (2). México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 209-220.
- 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. Argentina. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires (UBA). 55.
- Macdonald K, Penno J. 1998. Management decision rules to optimize milksolids production on dairy farms En: Elvidge D. G. (ed). Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production, Palmerston North, New Zealand. 132-135.
- Millapán Luis. 2014. Estimación de biomasa aérea en pasturas templadas de sistemas lecheros pastoriles. Tesis para la especialidad en producción lechera en sistemas argentinos. Buenos Aires, Argentina. Facultad de Agronomía. 63.
- Montossi F, De Barbieri I, Dighiero A. 2013. El uso de la altura del forraje: una herramienta disponible para el manejo eficiente de sistemas pastoriles orientados a la producción ovina. In: Tecnologías de engorde de corderos pesados sobre pasturas cultivadas en Uruguay. Montevideo, INIA. 159-182. (Serie Técnica no. 206)
- O'Donovan M., McHugh, N., McEvoy, M., Grogan, D., Shalloo, L. 2017. Combining seasonal yield, silage dry matter yield, quality and persistency in an economic index to assist perennial ryegrass variety selection. Journal of

Agricultural Science, 155(4): 556-568.

ONU. 2019. Comunicado de prensa. [En línea]. Consultado 20 de abril 2020. https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_essRelease_ES.pdf

Ortega G, Nuñez T, Custodio D, Mello R, López Y, Chilibroste P. 2018. Effect of stocking rate on pasture production and utilisation on a grazing dairy system during winter and spring. En: Abstracts of the 2018 American Dairy Science Association Annual Meeting. American Dairy Science Association, Knoxville, Tennessee. 257.

Pérez-Prieto LA, Delagarde R. 2013. Meta-analysis of the effect of pasture allowance on pasture intake, milk production, and grazing behavior of dairy cows grazing temperate grasslands. *Journal of Dairy Science*. 96(10): 6671-6689. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6964>.

Pérez-Prieto LA, Peyraud JL, Delagarde R. 2011. Pasture intake, milk production and grazing behaviour of dairy cows grazing low-mass pastures at three daily allowances in winter. *Livestock Science*. 137: 151–160.

Ribeiro Filho HMN, Delagarde R, Peyraud JL. 2003. Inclusion of white clover in strip-grazed perennial ryegrass swards: Herbage intake and milk yield of dairy cows at different ages of sward regrowth. *Animal Science*. 77: 499–510.

Rijswijk K, Brazendale R. 2016. Pasture renewal practices, experiences and attitudes: a comparison over time. *Journal of New Zealand Grasslands*. 78: 51-56.

Stirling S, Martínez R, Pla M, Waller A, Mendoza A, Fariña S. 2019. Biophysical and economic performance of high production dairy farm systems with different feeding strategies and cow genotypes. In: 6th International Symposium for Farming System Design.

Wales WJ, Doyle PT, Stockdale CR, Dellow DW. 1999. Effects of variations in

herbage mass, allowance, and level of supplement on nutrient intake and milk production of dairy cows in spring and summer. Australian Journal of Experimental Agriculture. 39:119–130.

7. ANEXO

7.1. ANEXO 1

Ajuste del modelo lineal de biomasa seca disponible sobre los 5cm del suelo (Kg MS/ha); intervalo de confianza (IC) de los parámetros a y b, n de la ecuación, BIC, AIC, AICC, R², R² ajustado y RMSE, para la ecuación general única y para las ecuaciones separadas por Recurso Forrajero, Estación y Categoría de Edad.

Categorías	Ecuación $y = a + bx$	IC a	IC b	n	BIC	AIC	AICC	R ²	R ² ajustado	RMSE
Única	$y = 61,9 + 12,1x$	128	1,04	770	9860	9858	9858	0,40	0,40	602
Edad 0	$y = 440,0 + 8,6x$	239	1,82	232	2971	2969	2970	0,28	0,27	599
Edad 1	$y = -286,2 + 15,0x$	202	1,65	289	3713	3711	3711	0,53	0,52	613
Edad 2	$y = -53,6 + 13,8x$	364	3,23	127	1607	1605	1605	0,36	0,36	551
Edad 3	$y = 168,7 + 11,6x$	294	2,51	122	1551	1548	1549	0,41	0,41	566
Alfalfa/Cebadilla	$y = -298,6 + 15,6x$	351	2,85	85	1073	1071	1071	0,59	0,58	538
Alfalfa/Dactylis	$y = 78,9 + 11,3x$	282	2,19	147	1895	1893	1893	0,42	0,41	622
Raigrás/Avena	$y = 120,9 + 10,5x$	336	2,44	146	1881	1879	1879	0,34	0,33	620
Dactylis/Trébol Blanco	$y = -172,5 + 13,6x$	174	1,52	273	3366	3364	3364	0,54	0,53	472
Festuca	$y = 306,4 + 13,5x$	398	3,52	119	1558	1556	1556	0,33	0,32	684
Mar-May	$y = 1,5 + 11,9x$	216	1,83	285	3671	3669	3669	0,37	0,37	622
Jun-Ago	$y = 49,8 + 11,9x$	252	2,11	137	1721	1719	1719	0,48	0,47	527
Sep-Nov	$y = 59,2 + 11,5x$	244	1,80	206	2625	2623	2623	0,44	0,44	579
Dic-Feb	$y = -122,3 + 16,6x$	322	2,80	142	1798	1796	1796	0,49	0,49	554