

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

CALIBRACIÓN Y COMPARACIÓN DE DIFERENTES MÉTODOS DE
ESTIMACIÓN DE FORRAJE DISPONIBLE

por

Juan Manuel GARRIDO BRUZZONE

TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo.

MONTEVIDEO
URUGUAY
2019

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. PhD. Pablo Chilibroste

Ing. Agr. MSc. Gastón Ortega

Ing. Agr. Alicia Waller

Fecha: 25 de noviembre de 2019

Autor:

Juan Manuel Garrido

AGRADECIMIENTOS

Agradecer en primer lugar a mi familia y amigos por todo el apoyo que me brindaron durante toda la carrera. A mis tutores por la oportunidad que me brindaron y por todo el aprendizaje. Agradecer a todo el equipo del CRS por su respaldo durante todo el trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	Pagina
PAGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1.1. <u>OBJETIVOS</u>	1
1.1.1. <u>Objetivo general</u>	1
1.1.2. <u>Objetivos específicos</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	2
2.1. <u>EL CONTEXTO DE LA LECHERÍA</u>	2
2.2. <u>URUGUAY</u>	2
2.2.1. <u>Caracterización</u>	2
2.2.2. <u>Costos, alimentación</u>	3
2.3. <u>MÉTODOS DE ESTIMACIÓN</u>	5
2.3.1. <u>Doble muestreo</u>	5
2.3.2. <u>Regla</u>	6
2.3.3. <u>c-Dax</u>	6
2.4. <u>ANTECEDENTES DE CALIBRACIONES Y COMPARACIONES DE DIFERENTES MÉTODOS</u>	7
2.5 <u>CONCLUSIÓN DE LOS ANTECEDENTES</u>	12
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	13
3.1. <u>RECURSOS NATURALES CRS</u>	13
3.1.1. <u>Suelos</u>	13
3.1.2. <u>Precipitaciones</u>	14
3.2. <u>MANEJO DE LA PASTURA</u>	15
3.2.1. <u>Siembra y fecha de siembra</u>	15
3.2.2. <u>Fertilización</u>	15
3.3. <u>ESTRATEGIA DE INVESTIGACIÓN</u>	16
3.4. <u>CALIBRACIÓN c-DAX</u>	16
3.5. <u>REGISTRO DE ALTURA DE LOS POTREROS CON c-DAX</u>	17
3.6. <u>CALIBRACIÓN REGLA</u>	17
3.7. <u>ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA CALIBRACIÓN c-DAX Y REGLA</u>	17

4. <u>RESULTADOS</u>	18
4.1. RESULTADOS CALIBRACIÓN c-DAX.....	18
4.1.1. <u>Comparación ecuación fabricante y ecuación de calibración</u>	21
4.1.2. <u>Comparación ecuación por especie c-Dax</u>	21
4.2. RESULTADOS CALIBRACIÓN REGLA.....	28
4.2.1. <u>Comparación ecuación por especie de regla</u>	28
4.3. COMPARACIÓN ENTRE C-DAX Y REGLA.....	37
4.4. COMPARACIÓN C-DAX Y DOBLE MUESTREO.....	40
5. <u>DISCUSIÓN</u>	42
5.1. <u>Calibración c-Dax</u>	42
5.2. <u>Calibración regla</u>	43
5.3. <u>Comparación c-Dax y regla</u>	42
5.4. <u>Comparación c-Dax y doble muestreo</u>	43
6. <u>CONCLUSIONES</u>	46
7. <u>RESUMEN</u>	47
8. <u>SUMMARY</u>	48
9. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	49
10. <u>ANEXOS</u>	52

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.		Pagina
1.	Resumen de los antecedentes.....	11
2.	Registro precipitaciones.....	15
3.	Resumen resultados c-Dax para modelos de regresión lineal.....	19
4.	Contraste entre pendientes ecuación c-Dax.....	19
5.	Resumen resultados regla para modelos de regresión lineal.....	29
6.	Contraste entre pendientes ecuación regla.....	29
7.	Comparación de medias.....	41
Figura No.		
1.	Altura de c-Dax y biomasa disponible.....	18
2.	Valores predichos por diferentes ecuaciones de c-Dax.....	20
3.	Comparación pendiente ecuación general c-Dax y pendiente ecuación fabricante.....	21
4.	Comparación pendiente ecuación general y pendiente ecuación para dactylis.....	22
5.	Comparación pendiente ecuación general y pendiente ecuación para alfalfa.....	23
6.	Comparación pendiente ecuación general y pendiente ecuación para avena/raigrás.....	24
7.	Comparación pendiente ecuación para alfalfa y pendiente ecuación para avena/raigrás.....	24

8.	Comparación pendiente ecuación para alfalfa y pendiente ecuación para dactylis.....	26
9.	Comparación pendiente ecuación para dactylis y pendiente ecuación para avena/raigrás.....	27
10.	Altura de regla y biomasa disponible.....	28
11.	Altura de regla y kg ms predichos por las diferentes ecuaciones.....	30
12.	Comparación pendiente ecuación general y pendiente ecuación para dactylis.....	31
13.	Comparación pendiente ecuación general y pendiente ecuación para alfalfa.....	32
14.	Comparación pendiente ecuación general y pendiente ecuación para avena/raigrás.....	33
15.	Comparación pendiente ecuación para alfalfa y pendiente ecuación para dactylis.....	34
16.	Comparación pendiente ecuación para avena/raigrás y pendiente ecuación para dactylis.....	35
17.	Comparación pendiente ecuación para alfalfa y pendiente ecuación para avena/raigrás.....	36
18.	Comparación altura medida con c-Dax y medida con regla.....	37
19.	Comparación valores predichos por ecuación para regla y ecuación para c-Dax.....	38
20.	Comparación disponibilidad estimada con c-Dax y con doble muestreo.....	40

1. INTRODUCCIÓN

La lechería uruguaya ha experimentado un proceso de intensificación en los últimos 15 años donde la producción ha aumentado al tiempo que la superficie total y el número de productores ha disminuido (MGAP. DIEA, 2017). Actualmente el 70 % de la producción se exporta, esto determina un alto grado de exposición a la volatilidad de los precios internacionales.

Frente a esta situación, aspectos asociados a la competitividad son de gran relevancia para los sistemas pastoriles de producción de leche. Los sistemas más pastoriles e intensivos demuestran una mayor estabilidad frente a escenarios de precios negativos y variables climáticas.

En los sistemas lecheros los costos asociados a la alimentación son muy importantes y dietas con gran participación del forraje explica el bajo costo de producción de los sistemas uruguayos (Chilibroste, 2011). El pasto cosechado de forma directa de manera eficiente es el alimento más barato disponible en un sistema lechero en Uruguay (Chilibroste y Battezzato, 2014) y en el mundo (Dillon et al., 1995)

Los sistemas pastoriles de Uruguay son diversos y combinan el uso de pasturas perennes y verdeos que le proporcionan una gran variabilidad. Esto genera un desafío para los sistemas comerciales al momento de estimar la disponibilidad de biomasa con exactitud. Por tal motivo es necesario contar con métodos precisos, confiables y de fácil utilización que permitan la toma de decisiones certeras que apunten a la conversión eficiente de pasto a leche.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

El objetivo general del presente trabajo es calibrar dos herramientas, el c-Dax y la regla graduada para poder estimar biomasa disponible, y cuantificar las diferencias en estimación de biomasa disponible a nivel de potrero entre c-Dax y la técnica doble muestreo.

1.1.2 Objetivos específicos

1. Calibrar un sensor remoto de alta resolución espacial (c-Dax) y la regla para estimar biomasa disponible en una sección de 6 metros en mezclas de una

rotación compuesta por praderas de *Dactylis glomerata* y *Trifolium repens*, *Medicago sativa* y *Bromus catharticus* y una mezcla de *Avena sativa* y *Lolium multiflorum*.

2. Comparar la ecuación de c-Dax proporcionada por el fabricante para el lugar de origen con la calibración local.

3. Evaluar las diferencias en la estimación de altura y biomasa entre el c-Dax y estimaciones realizadas con la regla graduada.

4. Evaluar el desempeño del pasturómetro en la estimación de biomasa a nivel de potrero con los resultados obtenidos con la técnica de doble muestreo.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 EL CONTEXTO DE LA LECHERÍA

La producción mundial de leche aumenta considerablemente año tras año. Si se considera el periodo 1970-2017 dicho incremento ha sido de 1,4% anual mientras que si se toma el periodo 2010-2017 el aumento anual ha sido del 2% (OCLA, 2016).

Del total de leche producida solo un 10% de la producción mundial de leche es volcada al mercado mundial. Los principales países exportadores son Nueva Zelanda que representa el 29%, la Unión Europea con el 27% y Estados Unidos con el 14% que representan el 70% del volumen de leche que se comercializa en el mercado mundial (OCLA, 2016).

2.2 URUGUAY

2.2.1 Caracterización

El sector lechero en Uruguay se ha intensificado fuertemente en los últimos años, donde la producción ha aumentado notablemente pasando de 1329 millones de litros producidos en el periodo 2000/01 a 2026 millones de litros producidos en el periodo 2015/16 (MGAP. DIEA 2007, 2017). Según datos de INALE (2018), el crecimiento de la producción en el período 2007-2014 fue de una tasa del 7% acumulativo anual, frente a un 5% del período 1977-2007. Entre los años 2000/01 y 2015/16 los litros producidos por hectárea aumentaron un 69% (MGAP. DIEA 2007, 2017). Este crecimiento tuvo la particularidad que la superficie total de tambos se redujo, pasando de 1 000 000 hectáreas a 763 mil hectáreas para el mismo periodo (MGAP. DIEA 2007, 2017).

Este aumento de la producción se debió a un aumento de la producción individual y al mismo tiempo un incremento de la carga animal. En el año agrícola 2000/2001 existían 431 mil vacas masa y la carga animal era de 0,43 VM/ha, mientras que en el año 2016 existían 425 mil vacas masa representando una carga de 0,56 VM/ha. Además, la producción pasó de 3220 litros/VM/año promedio anual a 4768 litros/VM/ha año para 2000/2001 y 2016 respectivamente (MGAP. DIEA, 2017).

2.2.2 Costos, alimentación

Uruguay frente a sus principales competidores en el mercado mundial como son Europa, Oceanía y Estados Unidos tiene menores costos de producción (IFCN, 2013).

A pesar que Uruguay presenta bajos costos de producción, no se caracteriza por tener altos coeficientes en indicadores de eficiencia técnica (García et al., 2015). Según Álvarez (2011), el manejo o la forma de trabajo es más eficiente cuanto menos sean los recursos necesarios para obtener cada unidad de producto. Una mayor eficiencia técnica significa mejoras en el margen económico de la empresa. En Uruguay el costo de la tierra y la mano de obra es más económico que en otros países y esto determina que los costos totales sean más bajos (García et al., 2015).

Estados Unidos, Holanda, Nueva Zelanda y Australia tienen una productividad promedio de 10000 litros de leche corregida por energía/hectárea, mientras que en Uruguay la productividad promedio es inferior a 7000 litros/ha (Fariña y Chilibróste, 2019). Estados Unidos y Holanda tiene una alta producción individual y una alta carga mientras que Nueva Zelanda y Australia presentan una menor producción individual y una alta carga animal (Fariña y Chilibróste, 2019). La baja productividad de Uruguay se explica por una baja carga animal y una producción individual similar a Oceanía (Fariña y Chilibróste, 2019).

En los sistemas de base pastoril la carga es un factor que determina la eficiencia del sistema debido a que afecta la producción y utilización de las pasturas (Chilibróste, 2015). Al aumentar el número de vacas masa por hectárea aumenta la cosecha de forraje (Mc Meeckan y Walshe 1963, Chilibróste y Battegazore 2014).

La principal diferencia entre los países en términos de productividad (litros/hectárea) se explican por las diferencias en consumo de forraje producido en el sistema (Fariña y Chilibróste, 2019).

Según Chilibróste (2015), analizando datos del proyecto de producción competitiva (Chilibróste y Battegazore, 2014), observa como los sistemas más intensivos son los más pastoriles ya que cosechan mayor cantidad de forraje por hectárea y son los sistemas que obtienen mejores resultados en términos de margen de alimentación que duplican a los sistemas menos intensivos. La participación del forraje en la dieta de los animales ya sea en forma directa o diferido mediante reservas sigue siendo alto, esto también explica los bajos costos de producción (Chilibróste, 2011).

A nivel predial es posible lograr incrementos en la cosecha de forraje y aumentar la productividad con costos controlados (Chilibroste y Battegazore, 2014).

Mayores niveles de carga complejizan la organización y el control del forraje debe ser determinante para no atender frente a la persistencia de las pasturas. La intensidad de pastoreo ocasiona cambios en la producción y utilización del forraje (Mattiuda et al., 2009) y es posible controlarla con cambios en la oferta controlando el área asignada y el nivel de suplementación.

La determinación precisa de la biomasa disponible en un sistema pastoril es fundamental para la elaboración de balances forrajeros (Sanderson et al. 2001, Insua et al. 2019) y ajustar los períodos de mayor oferta con las mayores demandas energéticas por parte de los animales (Holmes y Roche, 2007).

Los métodos de medición para realizar una correcta estimación de la disponibilidad de forraje deben ser precisos, ya que errores en la estimación implican pérdidas de productividad y económicas para el sistema de producción (Sanderson et al. 2001, Montossi et al. 2013).

El pastoreo es sumamente complejo donde participan varias interacciones entre ellas se destacan la pastura y el animal. Por lo tanto, para lograr controlar esas variables es muy importante contar con herramientas que determinen biomasa de manera objetiva, precisa y sencilla (Montossi et al., 2013) de forma de lograr sistematizar las decisiones (Fariña et al., 2017)

2.3 MÉTODOS DE ESTIMACIÓN

2.3.1 Doble muestreo

Los métodos para estimar forraje se pueden agrupar en destructivos y no destructivos. Los métodos destructivos son aquellos donde se corta toda la biomasa y brinda información precisa en forma directa, pero requiere mucha mano de obra y por el otro lado los métodos no destructivos son menos precisos pero notoriamente más rápidos. El doble muestreo combina ambas técnicas. Este es un método que requiere menos mano de obra, menor equipamiento y menor tiempo. Una de las principales ventajas es que se puede utilizar para estimar biomasa en grandes áreas. Es una metodología subjetiva donde el observador debe ser capaz de relacionar lo que está observando con estándares que han sido fijados previamente. El éxito de esta técnica depende

de que el observador mantenga los criterios y gane experiencia con la práctica frecuente de esta técnica (Molitero, 1997).

Es un método de estimación visual donde se realizan cortes de biomasa para la calibración. Se recorre todo el potrero y visualmente se eligen entre tres y cinco estratos de disponibilidad de biomasa en función de la heterogeneidad de la pastura. Cuanto más heterogénea es la pastura más puntos de la escala se deben elegir. Estos diferentes estratos de la escala deben ser representativos del potrero. Se cortan tres muestras de cada uno de los puntos de la escala con un cuadrado de área conocida al ras del suelo. Posteriormente las muestras son pesadas y secadas a estufa a 60° por 48 hs. Con esta información se construye una escala donde a cada valor se le asigna el promedio de los tres cortes expresado en Kg MS/ha. El uno corresponde al estrato más bajo y el tres o cinco en función de la escala, corresponde a los mayores valores de disponibilidad. Se realiza la transecta del potrero y cada diez metros se registra el valor de la escala que se observa (Haydock y Shaw, 1975).

A partir de los kilos de materia seca de cada estrato y con la frecuencia que se obtiene de recorrer la transecta se construye una tabla de frecuencia relativa. A partir de esta información se determina los kilos de materia seca en cada potrero (Haydock y Shaw, 1975).

2.3.2 Regla

Dentro de los métodos indirectos de estimar la materia seca disponible, uno de los más empleados es la altura del forraje medida con regla. Varios autores han encontrado buenas relaciones entre la altura y la disponibilidad de la pastura. Existen ecuaciones que integran estas dos variables, estas se calculan realizando una regresión lineal entre la biomasa estimada por el método de corte del forraje y el promedio de mediciones de la altura de la pastura dentro de cada rectángulo de corte (Montossi et al., 2013).

Es importante destacar que la altura de regla es insuficiente para explicar la disponibilidad de forraje dado que también se debe considerar la composición botánica y la topografía del terreno tanto al momento de muestrear como el de interpretar los resultados (Montossi et al., 2013).

El método debe ser calibrado con frecuencia ya que la medición es sensible al error debido a la diferencia en la estructura de la pastura, la intensidad de pisoteo, la composición botánica, la época y manejo del pastoreo (Montossi et al., 2013)

La calibración se hace para un recurso forrajero en determinadas condiciones y en una región determinada, por tanto, la ecuación de predicción no se puede extrapolar a otras condiciones y debe ser calibrada nuevamente (Montossi et al., 2013).

2.3.3 c-Dax

Es un método indirecto para estimar biomasa aérea a partir de mediciones de altura de la pastura. Es un instrumento que a través de rayos de luz (infrarrojos) interceptados por sensores equidistantes determina la altura del recurso forrajero. Dicho instrumento registra 200 mediciones por segundo y a partir de una ecuación pre calibrada estima la disponibilidad de biomasa. El pasturómetro tiene forma de arco donde el forraje pasa por el medio y a ambos lados tiene sensores que miden la altura. A partir de esta altura y con una ecuación previamente calibrada se determina kilos de materia seca por hectárea. El fabricante lo calibró de forma estática y generó una ecuación única $y=16,3x+700$ (ver imágenes en anexos).

2.4 ANTECEDENTES DE CALIBRACIONES Y COMPARACIONES DE DIFERENTES MÉTODOS

Existen numerosos autores que calibraron y compararon diferentes métodos para estimar biomasa en pasturas. A continuación, se presentan algunos trabajos realizados en Uruguay y en otros países tales como Argentina, Chile, Australia, Dinamarca, Suiza y Nueva Zelanda.

Bisio et al. (2001) realizaron un experimento en distintos momentos del año, en situaciones de pre y postpastoreo con pastoreo rotativo sobre tres tipos de pasturas mezcla de *Medicago sativa*, *Festuca arundinacea* y *Bromus willdenowii*. Utilizaron un testigo que fue el corte y compararon tres métodos: el plato, la regla y la estimación visual ($p<0,05$). Se utilizó una t de student para analizar las pendientes (β_1) de las rectas de regresión ($y=\beta x$, $n=48$) entre los valores estimados (y) en cada uno de los métodos y los observados (x) en el testigo a través de todo el experimento. Todos los métodos obtuvieron un buen ajuste ($r^2>0,85$) y β_0 no fue significativamente diferente de 1 ($p<0,05$).

Hutchinson et al. (2016) buscaron desarrollar un protocolo para el muestreo de pasturas. Las mediciones fueron realizadas en diferentes granjas, para distintas regiones y estaciones. Cada uno de los potreros fue medido con c-Dax y con Rising Plate Meter (RPM). Los autores afirman que existen tres

elementos determinantes para muestrear una pastura. El primero es si visualmente el potrero tiene una disponibilidad de biomasa mayor o menor a 2000 kg MS/ha. El número de clases de pendientes que tiene el potrero. Y por último determinar con que precisión y exactitud se desea trabajar. Todas estas características determinan el número de muestras necesarias para estimar la disponibilidad del potrero. A mayor disponibilidad y mayor número de clases de pendientes en el potrero, es necesario trabajar con un mayor número de muestras independientemente de la precisión y la exactitud.

Insua et al. (2019) se propusieron calibrar un vehículo aéreo no tripulado (UAV) para determinar biomasa disponible y tasa de crecimiento. Utilizaron la regla como método de control con una única ecuación $y=123x - 515$ $n=90$ $r^2=0,86$ y el c-Dax con dos ecuaciones, una para festuca $y= 15x+150$ $n=32$ $r^2=0,82$ y otra para raigrás $y=17x-57$ $n=72$ $r^2=0,75$. Los autores no encontraron diferencias entre los tres métodos.

Intxusta Irisarri et al. (2007) buscaron comprobar la efectividad del uso de un pasturómetro para estimar biomasa en periodos de rebrote. Las determinaciones de altura se realizaron con una placa de 0,4 m * 0,4 m deslizable sobre un eje vertical sobre el cual se dispone un contador que registra la altura que recorre la plancha en cada medición. A partir de esta información generaron una ecuación para el periodo de rebrote primaveral $y= 155,5x+ 23,4$ con una precisión de 0,92. Con dicha ecuación estimaron que al inicio del experimento contaban con una disponibilidad de 844 kg MS ha y al final una disponibilidad de 2173 kg MS ha. El experimento duró 19 días y estimaron la tasa de crecimiento (69,9 kg MS/día).

King et al. (2010) calibraron el c-Dax para diferentes regiones de nueva Zelanda y compararon las ecuaciones proporcionadas por el fabricante con ecuaciones producto de su calibración. Los autores concluyeron que utilizando las ecuaciones del fabricante el error de predicción de biomasa disponible incrementó, en algunas regiones este error alcanzó los 1000 kg/ms/ha. Los autores afirman que una nueva calibración por regiones aumenta la precisión.

López-Guerrero et al. (2011) compararon la estimación de forraje obtenida por el método de corte directo con la estimación de tres métodos indirectos, el medidor de capacitancia, el plato medidor y la estimación visual. Para los tres métodos indirectos no existieron diferencias significativas entre ellos ($P=0.815$) y cuando se compararon por fechas tampoco reportaron diferencias ($P=0.379$). Los autores afirman que tomando el método de corte como valor de referencia los tres métodos indirectos sobreestiman la biomasa presente y que no existe diferencia significativa entre ellos tres.

Loaiza et al. (2012) estimaron la biomasa disponible en praderas de *Lolium perenne* mediante el pasturómetro c-Dax en cuatro predios comerciales

y en cada uno de ellos sobre seis potreros. Estos seis potreros fueron seleccionados en función de la disponibilidad de biomasa. Además, se utilizó para determinar la disponibilidad de cada potrero el Rising Plate Meter (RPM). Los autores encontraron una relación positiva, lineal y significativa ($p < 0,001$) entre la altura medida con el c-Dax y la cantidad de biomasa presente en el potrero. El coeficiente de determinación para ese periodo fue 0,703. La pendiente de la ecuación fue 15,9 y el intercepto de 118,6.

Comparaciones con c-Dax y RPM fueron reportadas por Lyons (2007) en pasturas de *Lolium multiflorum*, *Bromus willdenowii* y *Medicago sativa*. Para cada especie realizó el ajuste entre altura y biomasa para ambos métodos (c-Dax y RPM). Para *Lolium multiflorum* obtuvo una ecuación de predicción para el c-Dax $y = 0,16x^2 - 16,3x + 820,8$ con una precisión de $r^2 = 0,85$ mientras que para el RPM obtuvo una ecuación de predicción $y = 2,1x^2 + 50,5x - 264,7$ con una precisión de 0,89. Para *Bromus willdenowii* obtuvo para el c-Dax una respuesta lineal $y = 25,17x - 698,96$; $r^2 = 0,69$. Para el caso de *Medicago sativa* se obtuvo una ecuación de predicción para c-Dax $y = 0,12x^2 - 9,1x + 971,5$ con una precisión de $r^2 = 0,87$.

Montossi et al. (2013) evaluaron el uso de la altura del forraje medido con regla como una herramienta para el manejo de los sistemas pastoriles. Lo evaluaron en: *Avena sativa* cv. LE 115, *Lolium multiflorum* y *Festuca arundinacea*. En situaciones de pre pastoreo para el caso de la avena y el raigrás en el periodo otoño-invierno obtuvieron una ecuación de correlación $y = 126,5x + 378,4$ con un grado de exactitud (r^2) de 0,82 y una ecuación $y = 160,5x + 327$ con una exactitud de 0,63 respectivamente. Mientras que para situaciones de postpastoreo obtuvieron una ecuación de correlación $y = 302,5x - 18,7$ con un grado de exactitud de 0,54 y una ecuación de correlación $y = 213,6x + 610,8$ con una exactitud de 0,9 respectivamente.

Montossi et al. (2013) evaluaron el efecto de la estación para raigrás, en situación de prepastoreo para otoño y obtuvieron una ecuación de correlación $y = 104,84x + 522,44$ con una exactitud (r^2) de 0,6 mientras que para la primavera la relación entre altura y biomasa fue explicada por $y = 176,37x + 593,49$ con una exactitud (R^2) de 0,74. Para *Festuca* en condiciones de prepastoreo en el periodo invierno-primavera, la biomasa estimada mediante regla representó la relación $y = 164,04x + 538,87$ con una exactitud (r^2) de 0,72. Mientras que para para la situación de postpastoreo la biomasa fue explicada por la recta $y = 201,85x + 157,4$ con una exactitud (r^2) de 0,85.

Oudshoorn et al. (2011) calibraron el c-Dax en pasturas mezcla de *Trifolium repens* y *Lolium multiflorum* sobre secciones de 15 y 38 metros cuadrados para 2009 y 2010 respectivamente. Los autores ajustaron una ecuación logarítmica con una exactitud (r^2) para el año 2009 de 0,74 y para el

año 2010 de 0,83. Concluyeron que para la mezcla forrajera y rangos de altura de entre 70mm y 180 mm es posible utilizar una única ecuación.

Rennie et al. (2009) estimaron biomasa utilizando la ecuación de predicción estacional que provee el fabricante y la compararon con los cortes realizados en los rectángulos. El error medio fue de 504 kg de materia seca por hectárea y el rango del error fue de -620 a 1460 kg de materia seca por hectárea.

Según Rennie et al. (2009) tanto el c-Dax como el RPM mostraron grandes errores de predicción al utilizar las ecuaciones brindadas por el fabricante. Durante diciembre y enero sobreestimaron en más de 1000 kg de materia seca por hectárea mientras que en marzo y abril subestimaron en más de 1000 kg de materia seca por hectárea. Las nuevas ecuaciones fruto de una nueva calibración son una mejor opción para estimar biomasa en el norte de Nueva Zelanda.

Schori (2015) evaluó la exactitud de la estimación del c-Dax y lo comparó con el Rising Plate Meter (RPM) en praderas en Suiza cuya composición botánica determinada visualmente fue: en un 50% de ellas predominaban las gramíneas (>70%), un 20% estaban balanceadas (50% gramíneas) y en las restantes eran menos del 50% las gramíneas. En promedio la altura medida con RPM fue menor que con c-Dax ($P < 0,001$). La medida de los dos dispositivos se correlaciona bien, se ajustó una ecuación $y = 7,2x + 5,3$ $r^2 = 0,79$ donde Y es la altura medida con el c-Dax y X es la altura medida con el RPM.

Las regresiones específicas para cada sitio mostraron diferencias en el intercepto (0.7 vs. 19, $P < 0,001$) y la pendiente (7.45 vs. 6.4, $P = 0,003$) lo que indicaría que se debería ajustar una regresión para cada lugar (Schori, 2015). Las relaciones reportadas para estimación de biomasa para el RPM $y = 118x - 728$, $r^2 = 0,81$ y un $n = 252$ y para el c-Dax $y = 15,2x - 742$ $R^2 = 0,77$ con un $n = 252$. Según el autor la altura medida con c-Dax y RPM provee similar estimación de biomasa por hectárea y explica el 80% de la variación.

Cuadro No. 1. Resumen de los antecedentes

Autor	País	Método	Pastura	Resultado
Bisio et al. (2001)	Argentina	Corte Visual Regla Disco	<i>Medicago sativa</i> <i>Avena sativa</i> <i>Mezcla de Medicago</i>	$r^2 > 0,85$ Todos los métodos fueron igualmente precisos.

			<i>sativa</i> , <i>Festuca</i> <i>arundinacea</i> y <i>Bromus</i> <i>willdenowii</i>	
Insua et al. (2019)	Estados Unidos	UAV c-Dax Regla	Mezcla de <i>Festuca arundinacea</i> , <i>Dactylis glomerata</i> , <i>Trifolium pratense</i> <i>Medicago sativa</i> y mezcla de <i>Lolium multiflorum</i> , <i>Trifolium repens</i>	No hay diferencia entre los métodos.
Intxusta Irisarri et al. (2007)	Argentina	RPM	Mezcla de <i>Festuca arundinacea</i> , <i>Dactylis glomerata</i> y <i>Phalaris aquatica</i>	r^2 : 0,92
King et al. (2010)	Nueva Zelanda	Visual RPM c-Dax	>70 % <i>Lolium perenne</i>	Hay diferencias con la ecuación del fabricante
Loaiza et al. (2012)	Chile	c-Dax	<i>Lolium perenne</i>	r^2 : 0,7
López-Guerrero et al. (2011)	México	Corte Capacitancia RPM visual	Mezcla de <i>Festuca arundinacea</i> , <i>Poa pratensis</i> , <i>Dactylis glomerata</i> , <i>Elytrigia repens</i>	No hay diferencia entre los métodos indirectos y estos sobreestiman el método directo (corte).
Lyons (2007)	Australia	c-Dax RPM	<i>Lolium multiflorum</i>	r^2 : 0,85 0,89

Lyons (2007)	Australia	c-Dax RPM	<i>Bromus willdenowii</i>	r^2 : 0,69 0,78
Lyons (2007)	Australia	c-Dax RPM	<i>Medicago sativa</i>	r^2 : 0,87 0,52
Montossi et al. (2013)	Uruguay	Regla	<i>Avena sativa</i>	r^2 : pre pastoreo 0,82 post pastoreo 0,54
Montossi et al. (2013)	Uruguay	Regla	<i>Lolium multiflorum</i>	r^2 : prepastoreo 0,63 postpastoreo 0,89
Montossi et al. (2013)	Uruguay	Regla	<i>Festuca arundinacea</i>	r^2 : prepastoreo 0,72 postpastoreo 0,85
Oudshoorn et al. (2011)	Dinamarca	c-Dax	<i>Lolium multiflorum</i> y <i>Trifolium repens</i>	r^2 (2009): 0,74 r^2 (2010): 0,83
Rennie et al. (2009)	Nueva Zelanda	RPM c-Dax	Pradera Kikuyo	
Schori (2015)	Suiza	RPM	Pradera mezcla	r^2 : 0,81
Schori (2015)	Suiza	c-Dax	Pradera mezcla	r^2 : 0,77

2.5 CONCLUSIÓN DE LOS ANTECEDENTES

Existen diversos antecedentes de calibración y comparación de métodos de estimación de biomasa. En esta revisión se presentan antecedentes de diferentes países sobre diferentes recursos forrajeros en situaciones muy diferentes. En algunos casos el c-Dax se calibró de forma estática y en otras en movimiento. Algunos autores calibraron las herramientas en pasturas para corte y otros en pasturas bajo pastoreo directo. Todas estas variaciones ocasionan que existen muy diversos resultados. Se observa que en la mayoría de los casos el r^2 es mayor a 0,7 y en situaciones de post pastoreo siempre hay un mejor ajuste frente a situaciones de pre pastoreo.

Insua et al. (2019) utilizaron una ecuación de c-Dax para raigrás y otra para festuca. Las pendientes utilizadas fueron 17 y 15 y los interceptos utilizados fueron -57 y -150 respectivamente.

Loaiza et al. (2012) calibraron el c-Dax para raigrás, la pendiente es 15,89 y el intercepto 118,6. Schori (2015) ajusto una ecuación para c-Dax con una pendiente de 15,2 y el intercepto -742. Los valores de las pendientes son muy similares a los reportados por el fabricante (16,3) pero los interceptos son diferentes en comparación con el reportado por el fabricante (700) y muy diferentes entre los autores. Lyons (2007) calibró el c-Dax en Australia. Para raigrás y alfalfa ajusto un modelo cuadrático y para cebadilla kikuyo y un modelo lineal. La pendiente es 25,17 y el intercepto -698,96 y 6,35 y 574,17 respectivamente. Oudshoorn et al. (2011) calibraron el c-Dax y ajustaron una ecuación logarítmica. Rennie et al. (2009) compararon las ecuaciones específicas por región de Nueva Zelada con los cortes y encontraron que en promedio el c-Dax sobreestimaba 504 kg/ms/ha con un rango de -620 y 1460.

Insua et al. (2019) utilizaron una única ecuación para regla donde la pendiente es 123 y el intercepto -515. Bisio et al. (2001) no encontraron diferencias en la estimación de biomasa utilizando la regla en comparación con el corte. Estos autores encontraron que la regla sobreestimo entre 767 kg/ms/ha y 133 kg/ms/ha, dependiendo del recurso y si se encontraba en prepastoreo o post pastoreo, pero la diferencias no fueron significativas. Siempre en situaciones de postpastoreo la sobreestimación fue menor.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se llevó a cabo en el marco del proyecto de la red tecnológica sectorial de lechería. El ensayo se realizó en la unidad de lechería del Centro Regional Sur de la Facultad de Agronomía durante los meses de agosto de 2017 a febrero de 2018. Las mediciones se hicieron sobre praderas de primer y segundo año de *Dactylis glomerata* y *Trifolium Repens*, pradera mezcla de *Medicago sativa* y *Bromus catharticus* y sobre un verdeo de invierno de *Avena sativa* y *Lolium multiflorum*.

Las mediciones fueron realizadas en una plataforma experimental en la que pastoreaban 96 vacas distribuidas en 4 lotes de 24 vacas cada uno, con un arreglo de dos niveles de carga (2,0 VO/ha y 1,5 VO/ha) y dos niveles de manejo (laxo e intenso) contrastantes. La rotación forrajera dentro del área de pastoreo está comprendida por una fase anual con verdeo de invierno (*Avena sativa* y *Lolium multiflorum*) y verano (*Sorghum x drummondii*) y 3 años de pradera de *Dactylis glomerata* o *Medicago sativa*. La calibración de c-Dax y regla se realizó contemplando una diversidad de condiciones de la pastura (pre y post pastoreo) y se realizó el muestreo en todas las bases forrajeras y los potreros que comprendían la rotación, de esta forma se logró registrar una gran variedad de valores de altura.

3.1 RECURSOS NATURALES CRS

3.1.1 Suelos

El ensayo se realizó sobre 56 hectáreas que forman parte del proyecto de investigación. Esta superficie se caracteriza por tener una gran heterogeneidad de suelos y en promedio un índice coneat de 130. Los grupos CONEAT correspondientes a esta superficie son el 10.8a, 03.52 y el grupo 3.51 (MGAP. DIRENARE, s.f.).

El grupo 10.8a fue de los primeros en incorporarse a la agricultura, donde naturalmente el riesgo de erosión es alto. Esto sumado a la agricultura continua sin medidas de protección fue la causante de erosión severa en muchos casos. Los suelos se caracterizan por presentar una textura franco arcillo limosa, fertilidad alta y ser moderadamente bien drenados. Se pueden encontrar Vertisoles Rúpticos Típicos y Lúvicos (Grumosoles) y Brunosoles

Éutricos y Subéutricos Típicos. Tienen un índice de productividad de 105 (MGAP. DIRENARE, s.f.).

El grupo 03.51 son planicies altas excepcionalmente inundables. Los suelos dominantes son Brunosoles Éutricos Lúvicos de color pardo a oscuro, textura franco limosa, fertilidad alta y drenaje imperfecto. Tiene un índice de productividad de 175 (MGAP. DIRENARE, s.f.).

El grupo 03.52 se puede encontrar en dos situaciones, las planicies altas alcalinas localizadas en el litoral oeste o en planicies inundables de arroyos con ocurrencia en los departamentos de Colonia, San José y Canelones. La estación experimental se encuentra en la segunda situación donde los suelos dominantes son Brunosoles Eutricos Luvicos de textura franco limosa, fertilidad alta y drenaje imperfecto y Solonetz Ócricos de textura franco limosa, fertilidad muy baja y drenaje imperfecto. Tiene un índice de productividad de 53 (MGAP. DIRENARE, s.f.).

3.1.2 Precipitaciones

Para el período experimental, en el cuadro No. 2 se presentan las precipitaciones de cada mes obtenidas de la estación meteorológica del Centro Regional Sur.

Cuadro No. 2. Registro precipitaciones

Mes	Precipitaciones mm
Agosto 2017	162,2
Setiembre 2017	193,2
Octubre 2017	177,4
Noviembre 2017	34,3
Diciembre 2017	91,4
Enero 2018	85,8
Febrero 2018	30,2

Fuente: CRS (2017, 2018).

3.2 MANEJO DE LA PASTURA

Este trabajo se realizó sobre praderas mezcla de primer y segundo año de *Dactylis glomerata* y *Trifolium repens*, pradera mezcla de tercer y cuarto año de *Medicago sativa* y *Bromus catharticus* y un verdeo de invierno compuesto por *Avena sativa* y *Lolium multiflorum*.

3.2.1 Siembra y fecha de siembra

Las praderas mezcla de *Medicago sativa* y *Bromus catharticus* fueron sembradas el 13 de agosto de 2014 y el 15 de julio de 2015. La densidad de siembra fue de 15 kg/ha de *Medicago sativa* y 12 kg/ha de *Bromus catharticus*.

Las praderas mezcla de *Dactylis glomerata* y *Trifolium repens* fueron sembradas en mayo de 2016 y abril de 2017. La densidad de siembra fue de 20 kg/ha de *Dactylis glomerata* y 3 kg/ha de *Trifolium repens*.

Los verdeos de invierno se sembraron en febrero de 2017 con una densidad de siembra de 80 kg/ha de *Avena sativa* y 30 kg/ de *Lolium multiflorum*.

3.2.2 Fertilización

Las praderas mezcla de *Dactylis glomerata* y *Trifolium repens* se fertilizaron con 100 kg/ha de fosfato diamónico a la siembra. Luego de cada pastoreo se re fertilizó con 70 kg de urea por hectárea. En el año se aplicaron 320 kg de urea.

Para el caso de las praderas mezcla de *Medicago sativa* y *Bromus catharticus* la fertilización fue de 200 kg/ha de fosfato diamónico a la siembra.

A los verdeos de invierno se aplicó 130 kg/ha de 0-22/28-0 a la siembra y luego de cada pastoreo se aplicó 75 kg de urea/hectárea.

3.3 ESTRATEGIA DE INVESTIGACIÓN

El trabajo contó con varias etapas que se desarrollaron simultáneamente.

1) Se calibró el c-Dax y la regla en distintos recursos forrajeros sobre una sección de corte de seis metros de largo.

2) Recorrida semanal con el c-Dax de los cuatro sistemas a través de una transecta en cada potrero y se registró la altura promedio de cada uno de los potreros.

3) Semanalmente se determinó biomasa disponible en cada uno de los potreros utilizando la técnica de doble muestreo (Haydock y Shaw, 1975).

3.4 CALIBRACIÓN C-DAX

Para la calibración del c-Dax se realizaron muestreos en tres zonas del potrero (alto medio y bajo) ubicados en la transecta del potrero. Cada corte se realizó colocando dos estacas con seis metros de distancia entre ellas. En la sección de seis metros de largo y 0,3 metros de ancho (ancho operativo del equipo c-Dax) se pasó el instrumento y se registró la altura de dicha sección. Posteriormente se cortó y recolectó el forraje en la sección con una máquina de cortar pasto (Honda Hrt216) (por encima de 5 cm). La biomasa comprendida entre 0-5 cm (que no fue removida por la maquina) fue cosechada mediante tres cortes en rectángulos (0,51 m x 0,3 m). Las muestras fueron pesadas y secadas en estufa a 60° por 48 hs para determinar el contenido de MS de las mismas. La información de cada corte se recopiló y a partir de los datos de altura registrados y los pesos de las muestras (de 0-5 cm y +de 5 cm) se construyó una ecuación de regresión lineal ($Y = \beta_1 X + \beta_0$) donde X la variable independiente es la altura y la variable dependiente Y son los kilos de materia seca por hectárea. Estos datos son llevados a kilos de materia seca por hectárea y se desglosaron de 0 a 5 cm y por encima de 5 cm.

3.5 REGISTRO DE ALTURA DE LOS POTREROS CON EL c-DAX

Todas las semanas se recorrieron todos los potreros a través de la transecta con el c-Dax. Se registró la altura que midió el pasturómetro y con una única ecuación para todos los recursos que previamente se había obtenido en la sección de seis metros se estimó la biomasa disponible en cada uno de los potreros.

3.6 CALIBRACIÓN REGLA

Sobre la misma sección de seis metros donde se calibró el c-Dax se tomaron diez mediciones de altura con regla graduada en el punto de contacto con el forraje. Para la calibración el registro de altura es la variable independiente y los kilos de materia seca totales a ras del suelo que se cortaron en la sección de seis metros son la variable dependiente, tal cual fue detallado en el ítem anterior.

3.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA CALIBRACIÓN C-DAX Y REGLA

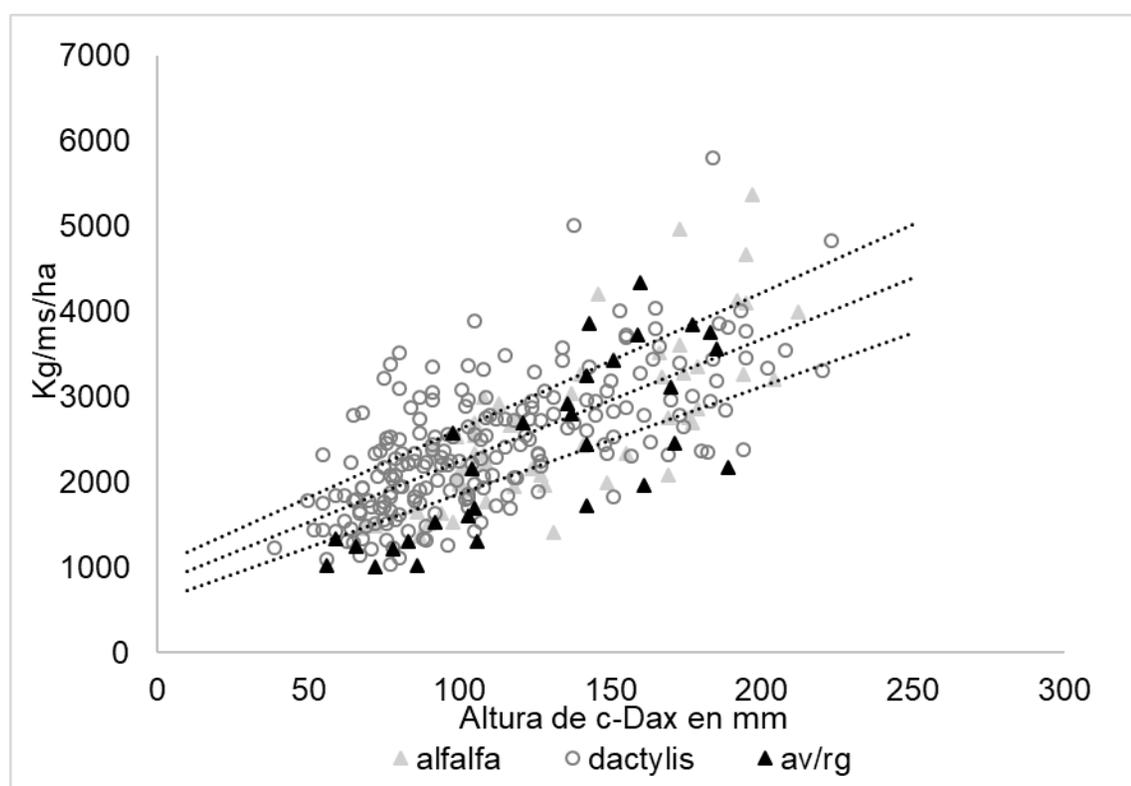
Para c-Dax y regla se utilizó un modelo de regresión lineal simple donde se ajustó la altura medida con cada uno de los instrumentos y los kilos de materia seca disponible por hectárea. La variable independiente (X) fue la altura medida y la variable dependiente los kilos de materia seca totales a ras del suelo por hectárea. Se compararon las pendientes y los intervalos de confianza.

4. RESULTADOS

4.1 RESULTADOS CALIBRACIÓN C-DAX

Para la calibración de c-Dax se graficaron todos los cortes realizados durante agosto de 2017 a febrero de 2018 en todos los recursos. La variable independiente es la altura registrada por el c-Dax y la variable dependiente son los kilos de materia seca totales por hectárea que fueron removidas en la sección. En la figura se añadió la línea de tendencia de la ecuación general y el intervalo de confianza.

Figura No. 1. Altura de c-Dax y biomasa disponible



En la figura No. 1 se puede observar que existe una correlación lineal entre la altura registrada por el c-Dax y los kilos de materia seca por hectárea independientemente del recurso y la estación.

Cuadro No. 3. Resumen resultados c-Dax para modelos de regresión lineal

	$\beta 1$	$\beta 0$	N	r^2	IC inf	IC sup
Ecuación general	14,33	804,91	294	0,48	12,63	16,03
dactylis	13,11	991,03	207	0,44	11,10	15,13
avena/raigrás	19,78	-122,52	30	0,62	13,78	25,78
alfalfa	18,16	230,66	57	0,59	14,10	22,22

Se realizaron contrastes para comparar la pendiente de las ecuaciones de los diferentes recursos entre sí y con la pendiente de la ecuación general.

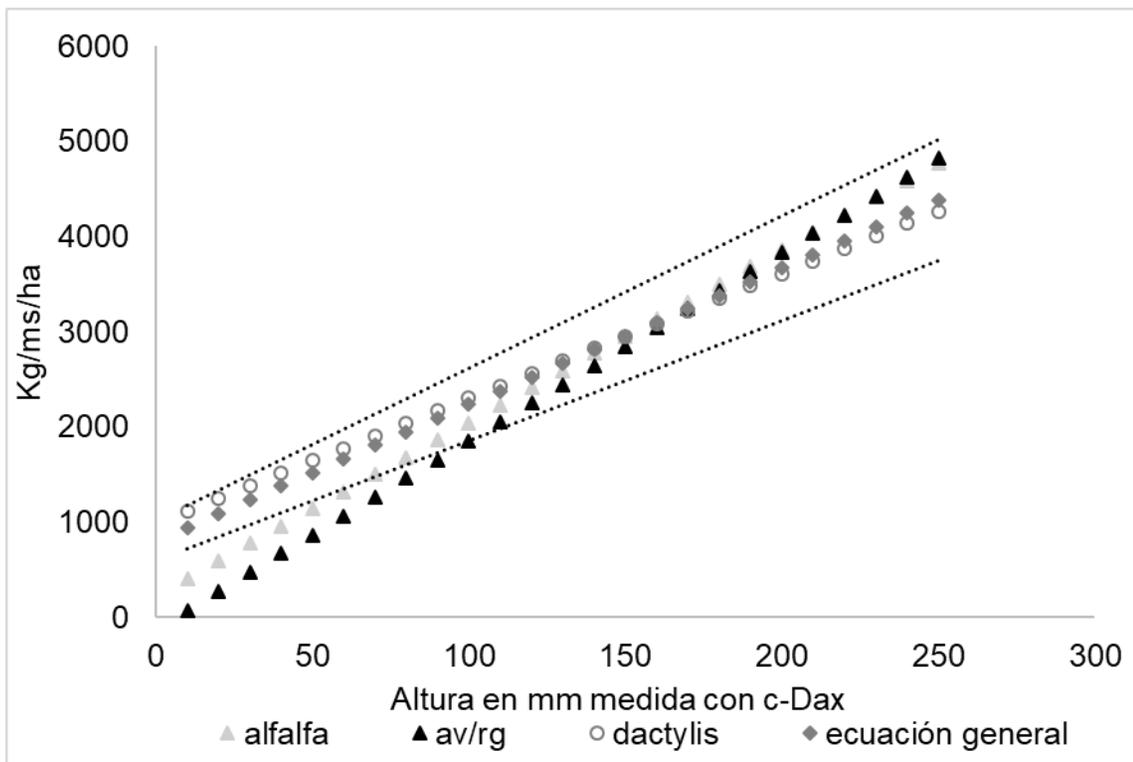
Cuadro No. 4. Contraste entre pendientes ecuación c-Dax

Comparación	p-valor
dactylis vs. ecuación general	0,37
av/rg vs. ecuación general	0,06
alfalfa vs. ecuación general	0,08
dactylis vs. av/rg	0,02
dactylis vs. alfalfa	0,03
Alfalfa vs. av/rg	0,63

p-valor < 0,05 existen diferencias entre las pendientes

Para conocer la diferencia en los valores de predicción de las diferentes ecuaciones se estimaron los predichos en un rango de valores de altura de c-Dax que va de 10 a 250. La variable independiente es la altura de c-Dax y la variable dependiente son los kilos totales predichos por cada una de las ecuaciones. También se añadió el intervalo de confianza de la ecuación general.

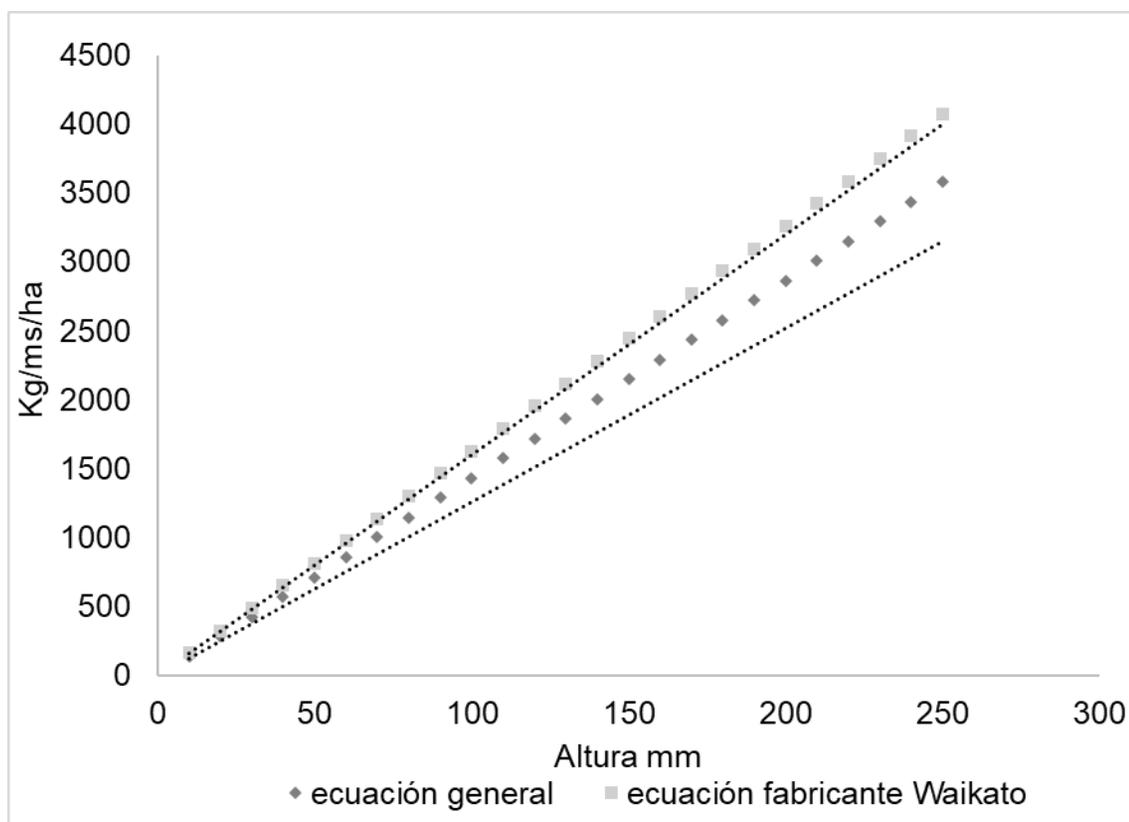
Figura No. 2. Valores predichos por diferentes ecuaciones de c-Dax



Como se observa en la figura No. 2 a valores bajos de kilos de materia seca por hectárea y a valores altos existe una mayor diferencia entre las diferentes ecuaciones. A valores intermedios de altura entre 62 y 152 mm de c-Dax (72% datos) existe un solapamiento de las ecuaciones.

4.1.1 Comparación ecuación fabricante y ecuación de calibración

Figura No. 3. Comparación pendiente ecuación general c-Dax y pendiente ecuación de fabricante



La pendiente de la ecuación del fabricante para Waikato (c-Dax, 2016) es igual al intervalo de confianza superior de la ecuación general para c-Dax. El intercepto de la ecuación del fabricante es 700 y el de la ecuación calibrada en este trabajo es 804,9.

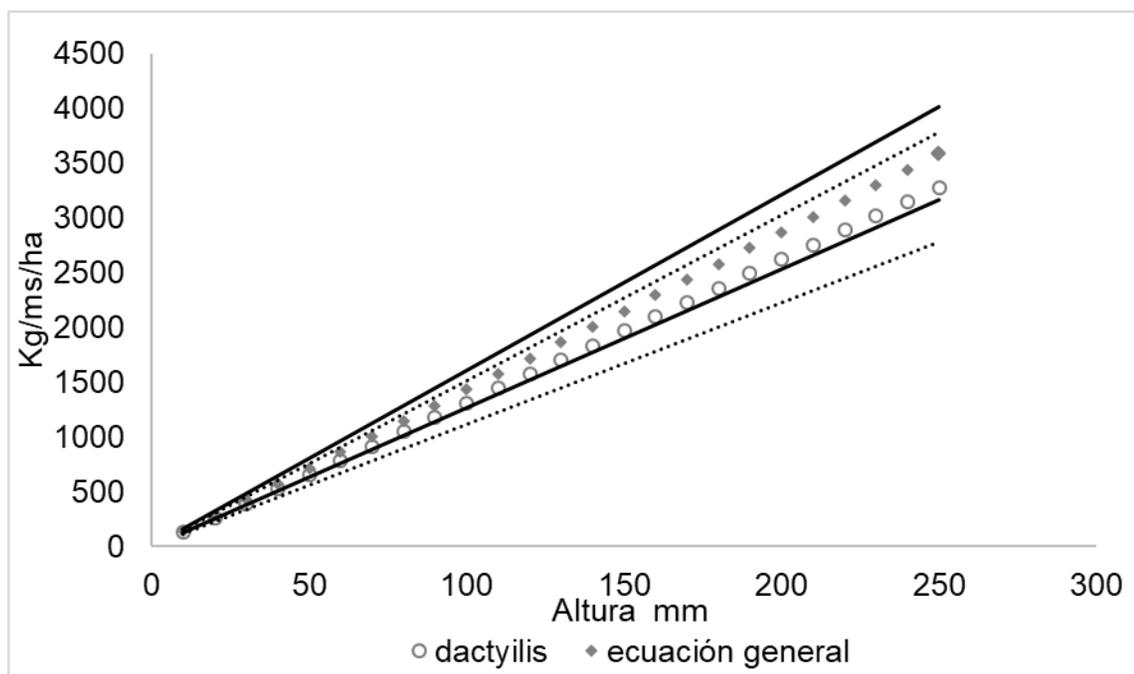
4.1.2 Comparación ecuación por especie de c-Dax

Se compararon las pendientes de las diferentes ecuaciones. Se construyó un rango de alturas de c-Dax desde 10 a 250, la variable independiente es la altura c-Dax y la variable dependiente los kg de MS por hectárea. Se calcularon los intervalos de confianza para cada ecuación. En el

primer grafico se comparó la pendiente de la ecuación general con la pendiente de la ecuación para dactylis.

4.1.2.1 Comparación ecuación general y ecuación dactylis estimado con c-Dax

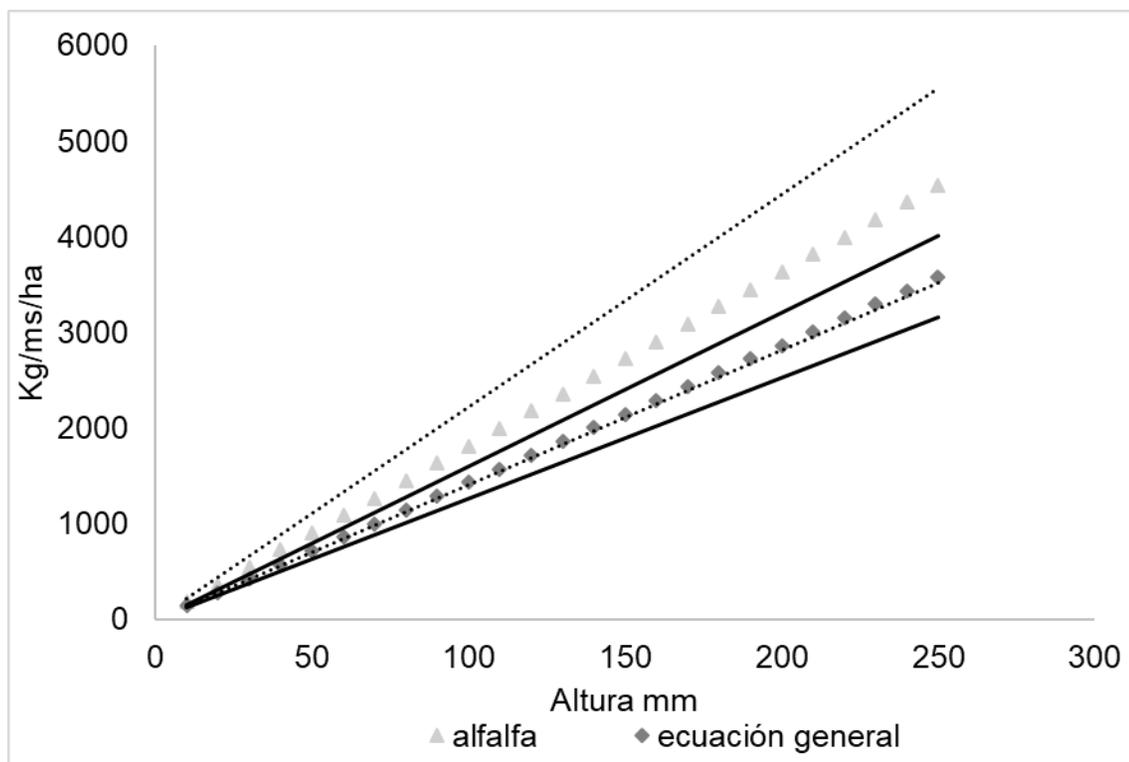
Figura No. 4. Comparación pendiente ecuación general y pendiente de ecuación para dactylis



No se encontraron diferencias entre la pendiente de la ecuación general y la pendiente de la ecuación para dactylis a diferentes valores de altura de c-Dax.

4.1.2.2 Comparación pendiente de ecuación general y pendiente de la ecuación para alfalfa medido con c-Dax

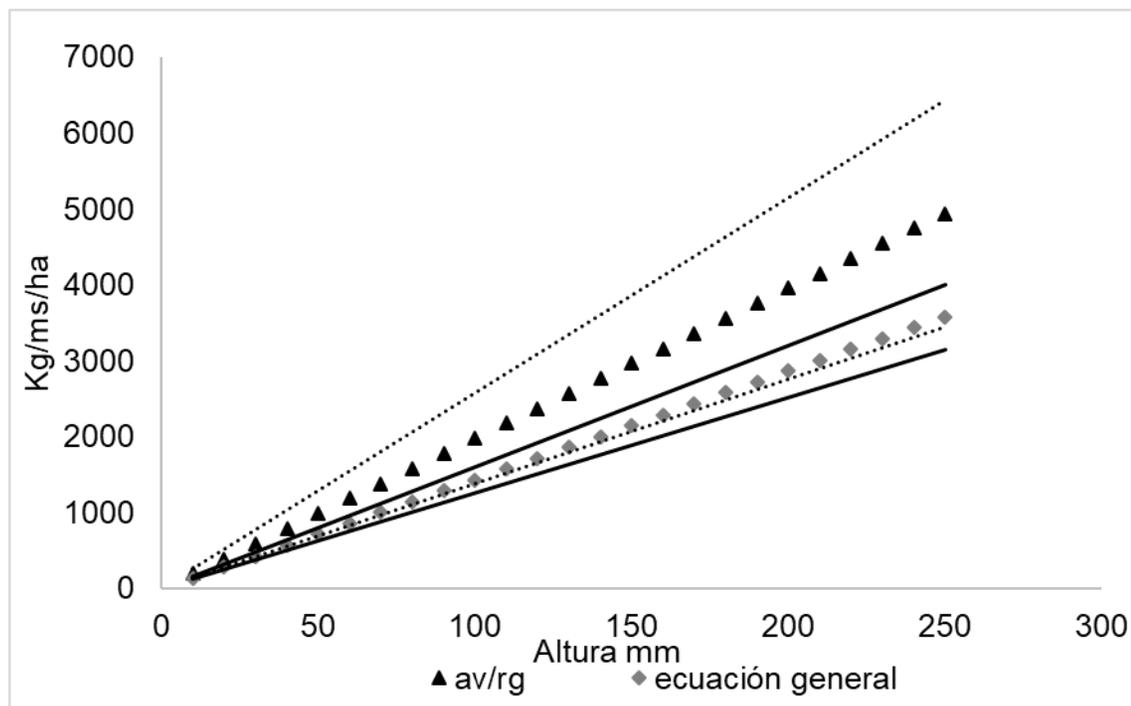
Figura No. 5. Comparación pendiente ecuación general y pendiente de ecuación para alfalfa



No existe diferencia entre las pendientes. Se observa que el intervalo de confianza de la ecuación general es menor en comparación al intervalo de confianza de la ecuación para alfalfa. A medida que aumenta la altura en mm aumenta la dispersión del intervalo de confianza.

4.1.2.3 Comparación pendiente de la ecuación general con la pendiente de la ecuación para avena y raigrás medido con c-Dax

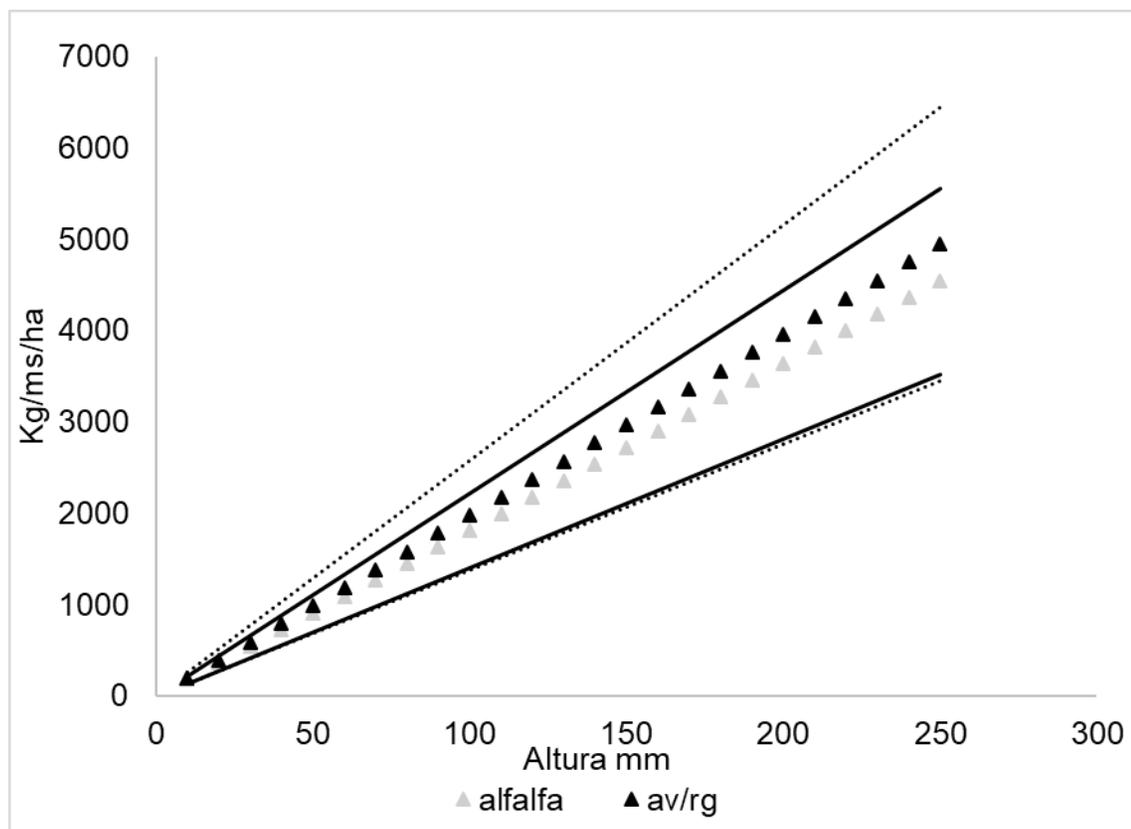
Figura No. 6. Comparación pendiente ecuación general y pendiente de ecuación para avena/raigrás



No existe diferencia entre las pendientes. En la figura No. 6 el intervalo de confianza de la ecuación general es menor en comparación al intervalo de confianza de la ecuación para avena/raigrás.

4.1.2.4 Comparación pendiente de la ecuación de alfalfa y la pendiente de la ecuación para avena y raigrás estimado con c-Dax

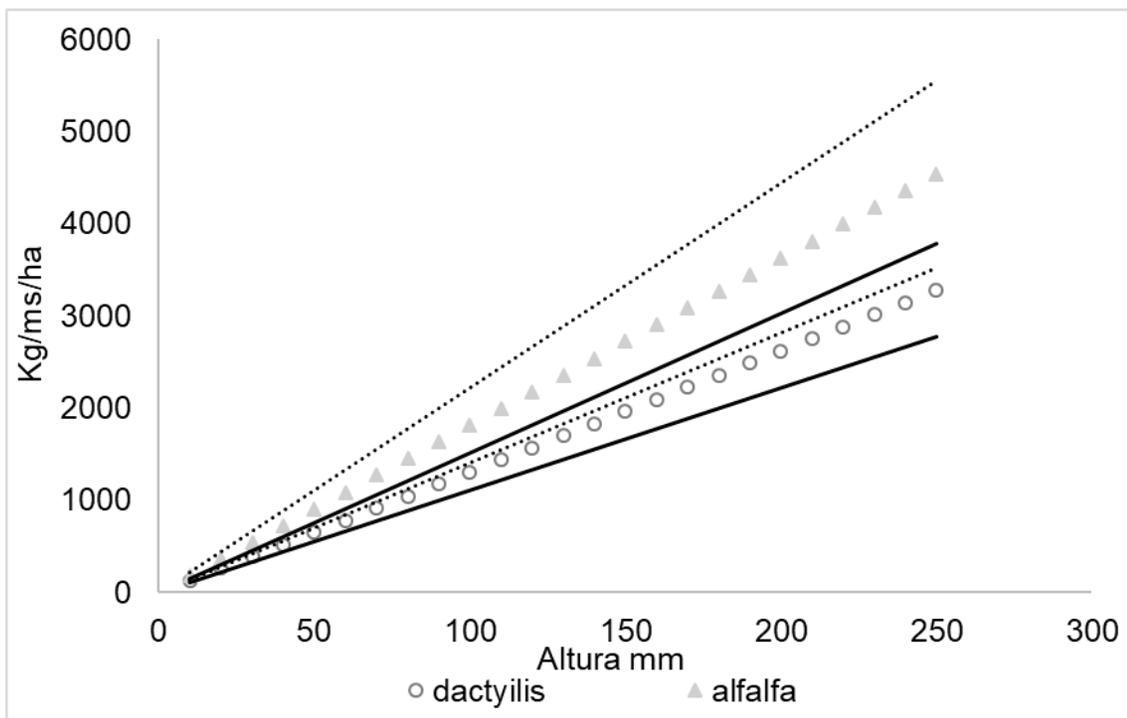
Figura No. 7. Comparación pendiente ecuación para alfalfa y pendiente de ecuación para avena/raigrás



No existen diferencias entre las pendientes y los intervalos de confianza están superpuestos. Se podría utilizar una única ecuación para ambos recursos.

4.1.2.5 Comparación pendiente de la ecuación de alfalfa y la pendiente de la ecuación de dactylis estimado con c-Dax

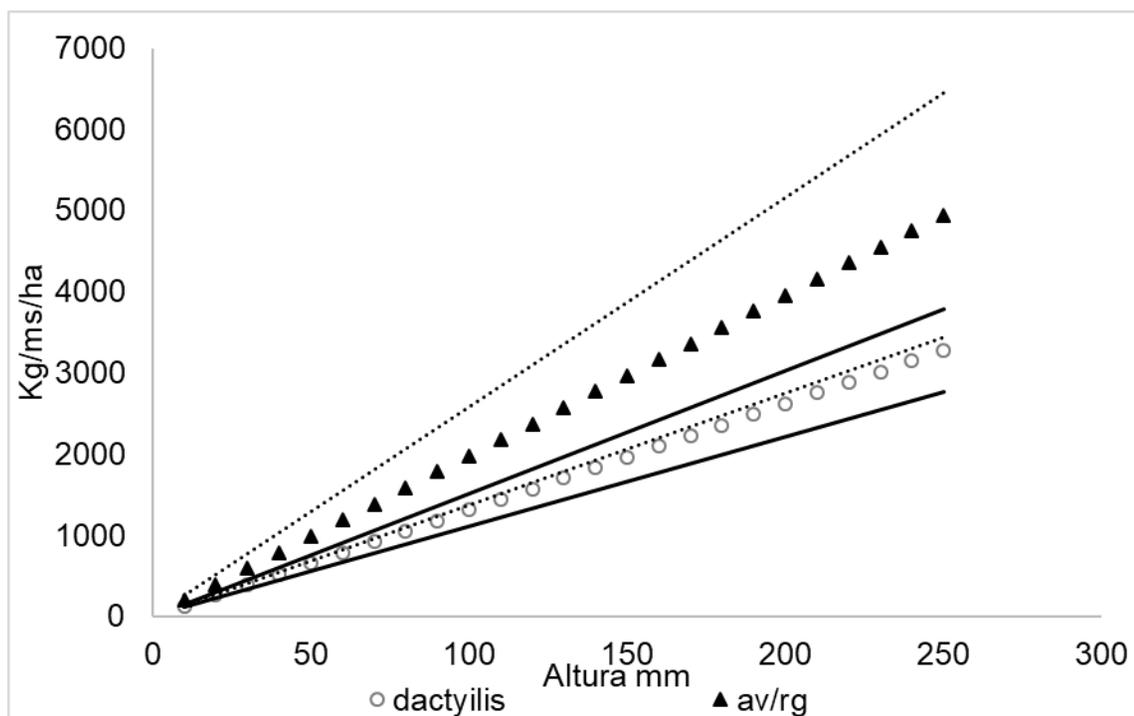
Figura No. 8. Comparación pendiente ecuación para alfalfa y pendiente de ecuación para dactylis



La ecuación para alfalfa sobreestima los valores predichos por la ecuación para dactylis. Las pendientes son estadísticamente diferentes pero los intervalos de confianza se superponen por lo tanto el error de uno está comprendido en el otro. El intervalo de confianza de la ecuación de dactylis es menor.

4.1.2.6 Comparación pendiente de la ecuación de dactylis y la ecuación para avena y raigrás estimado con c-Dax

Figura No. 9. Comparación pendiente ecuación dactylis y pendiente de ecuación para avena/raigrás



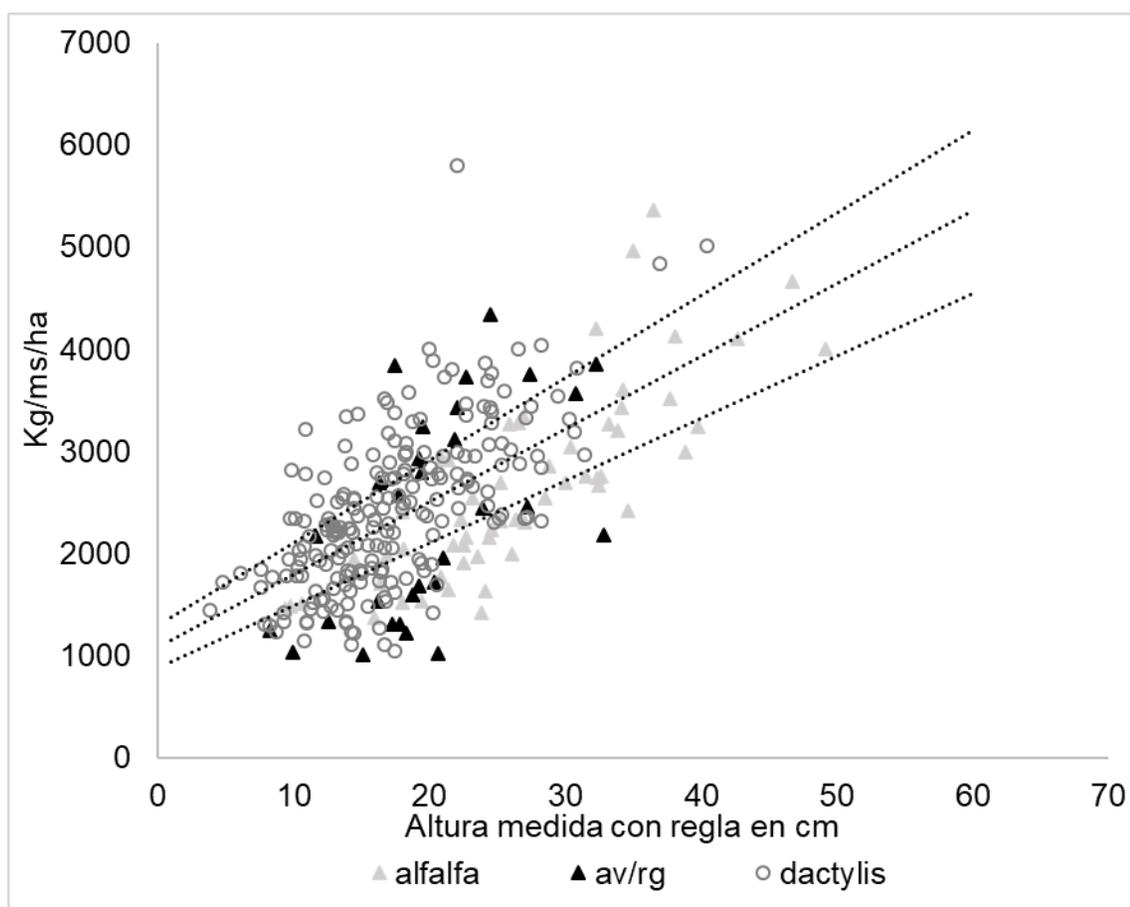
Estadísticamente no existe diferencias entre las pendientes. El intervalo de confianza de la ecuación para dactylis es menor.

Las pendientes de las ecuaciones por recurso no son diferentes estadísticamente con la pendiente de la ecuación general. Cuando se comparan los intervalos de confianza se observa que se solapan y que los errores de uno están comprendidos en el otro. Por lo tanto, es posible utilizar una única ecuación para estimar biomasa disponible utilizando el c-Dax.

4.2 RESULTADOS CALIBRACIÓN REGLA

Para la calibración de la regla se graficaron todos los cortes realizados en la sección de seis metros durante agosto de 2017 y febrero de 2018. A continuación, se presentan todos los cortes discriminados por recurso donde la variable independiente es la altura registrada con la regla expresada en cm y la variable dependiente son kg de materia seca por hectárea. También se graficó la ecuación general con su intervalo de confianza.

Figura No. 10. Altura de regla y biomasa disponible



En la figura No. 10 se observa como existe una correlación lineal y positiva entre la altura de regla y kilos de materia seca por hectárea. La misma respuesta ocurre para cada uno de los recursos donde se realizaron cortes.

Cuadro No. 5. Resumen resultados regla para modelos de regresión lineal

	$\beta 1$	$\beta 0$	N	r^2	IC inf	IC sup
Ecuación general	71,15	1082,2	295	0,41	61,29	81,01
dactylis	85,54	947,08	208	0,43	71,88	99,20
avena/raigrás	98,96	381,13	30	0,33	44,89	153,03
alfalfa	86,07	344,29	57	0,64	68,73	103,41

Se realizaron contrastes para comparar la pendiente de los diferentes recursos entre sí y con la pendiente de la ecuación general.

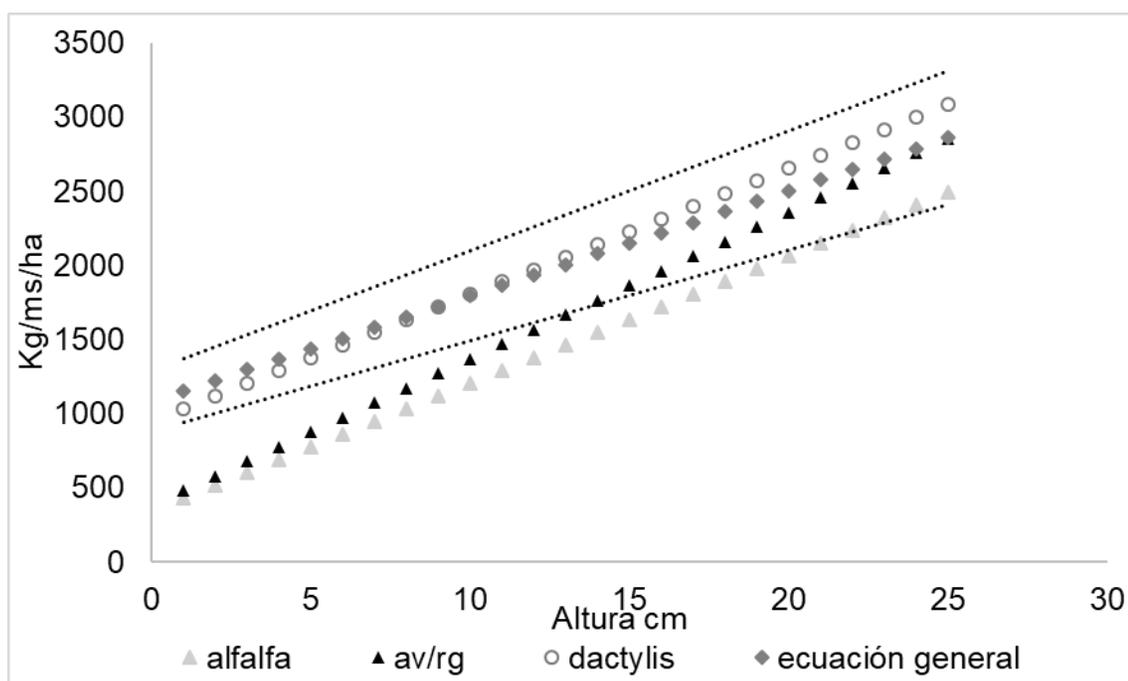
Cuadro No. 6. Contraste entre pendientes

Comparación	p-valor
dactylis vs ecuación general	0,11
av/rg vs. ecuación general	0,17
alfalfa vs. ecuación general	0,17
dactylis vs. av/rg	0,52
dactylis vs. alfalfa	0,95
alfalfa vs. av/rg	0,56

p-valor < 0,05 existen diferencias entre las pendientes

Se realizó un rango de altura de 10 a 25 cm y se graficó cada una de las ecuaciones por recurso y la ecuación general y su intervalo de confianza.

Figura No. 11. Altura de regla y kg ms predichos por las diferentes ecuaciones



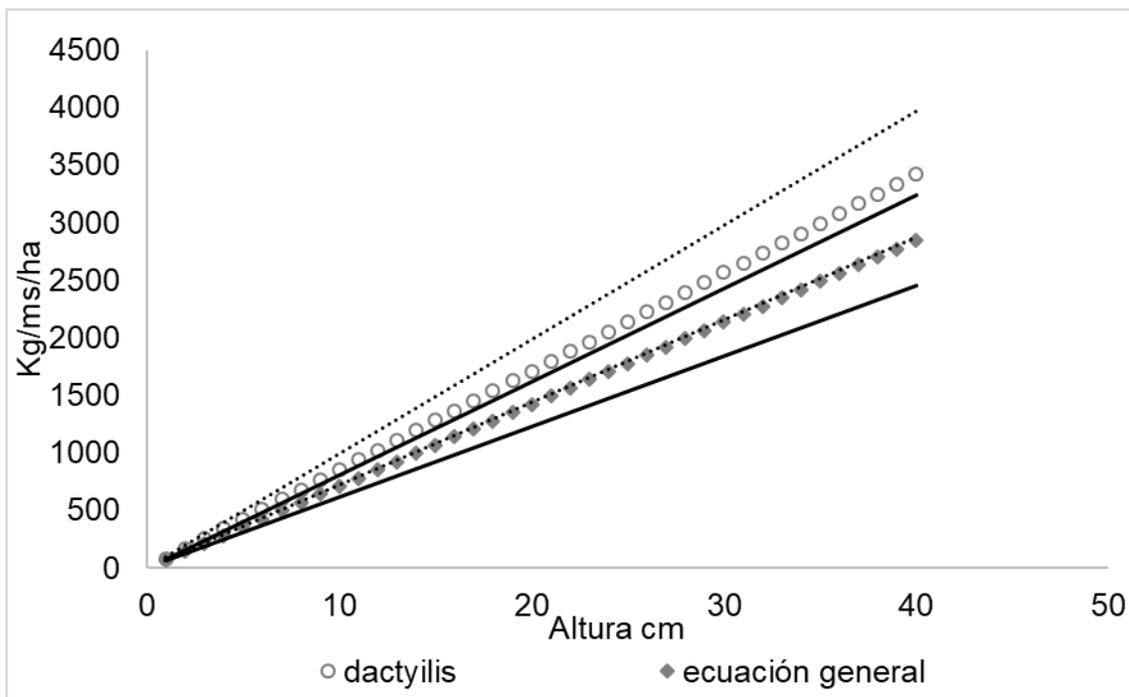
En la figura No. 11 se observa que no existe diferencia entre las ecuaciones. Entre valores de 10 y 25 cm existe un solapamiento de las ecuaciones.

4.2.1 Comparación ecuación por especie de regla

Se procedió a comparar las diferentes pendientes. Para esto se construyó un rango de valores que van de 0 cm hasta 40 cm y se compararon las pendientes de las ecuaciones y sus intervalos de confianza. La variable independiente es la altura registrada con la regla y la variable dependiente son kilos de materia seca por hectárea. A continuación, se presenta el gráfico comparando dactylis con la ecuación general.

4.2.1.1 Comparación ecuación general y ecuación dactylis

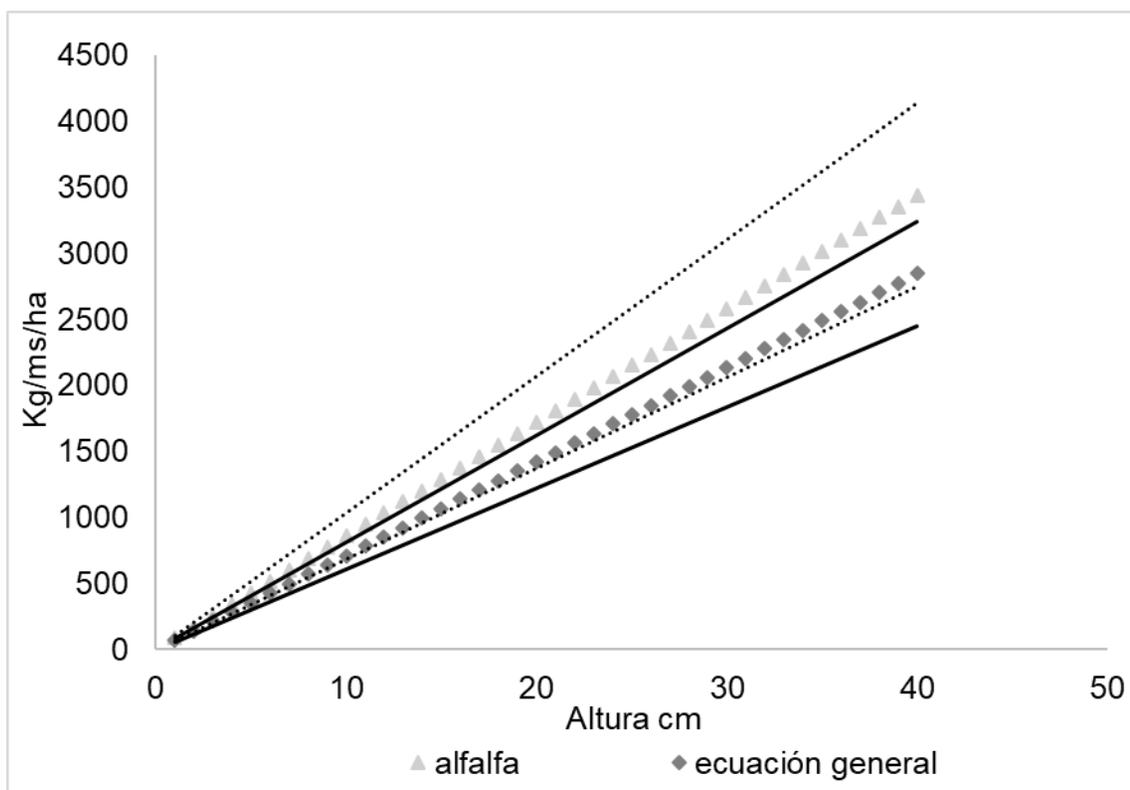
Figura No. 12. Comparación pendiente ecuación general y pendiente de ecuación de dactylis



Estadísticamente no existen diferencias entre las pendientes de las dos ecuaciones. En la figura No. 12 se observa que los intervalos de confianza se superponen.

4.2.1.2 Comparación ecuación general y ecuación de alfalfa

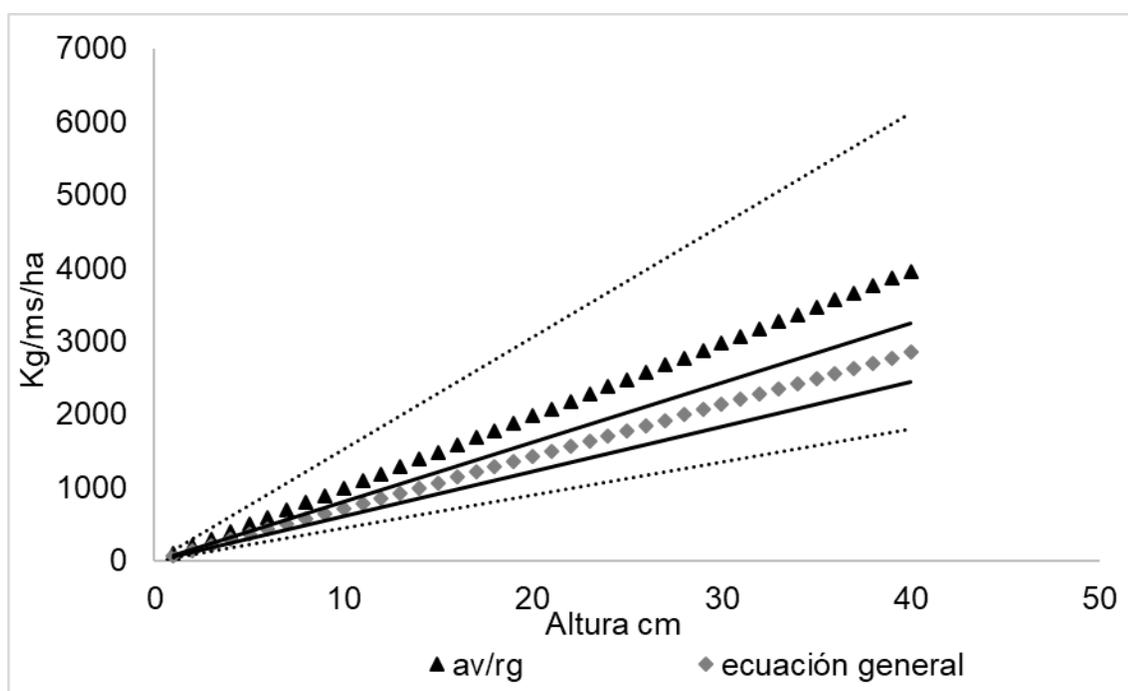
Figura No. 13. Comparación pendiente ecuación general y pendiente de ecuación de alfalfa



No se encontró diferencia entre las pendientes. El intervalo de confianza de la ecuación general es menor.

4.2.1.3 Comparación ecuación general y ecuación av/rg

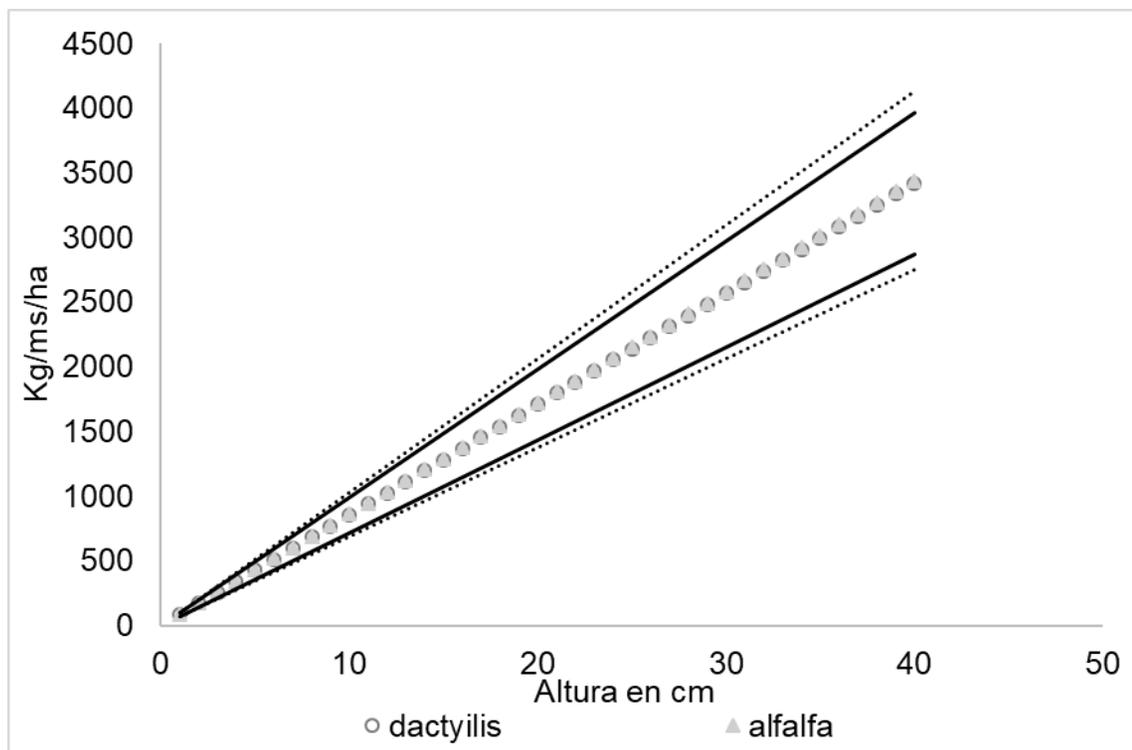
Figura No. 14. Comparación pendiente ecuación general y pendiente de ecuación de avena/raigrás



No existe diferencia entre las pendientes. El intervalo de confianza de la ecuación general es menor.

4.2.1.4 Comparación ecuación para dactylis y ecuación para alfalfa

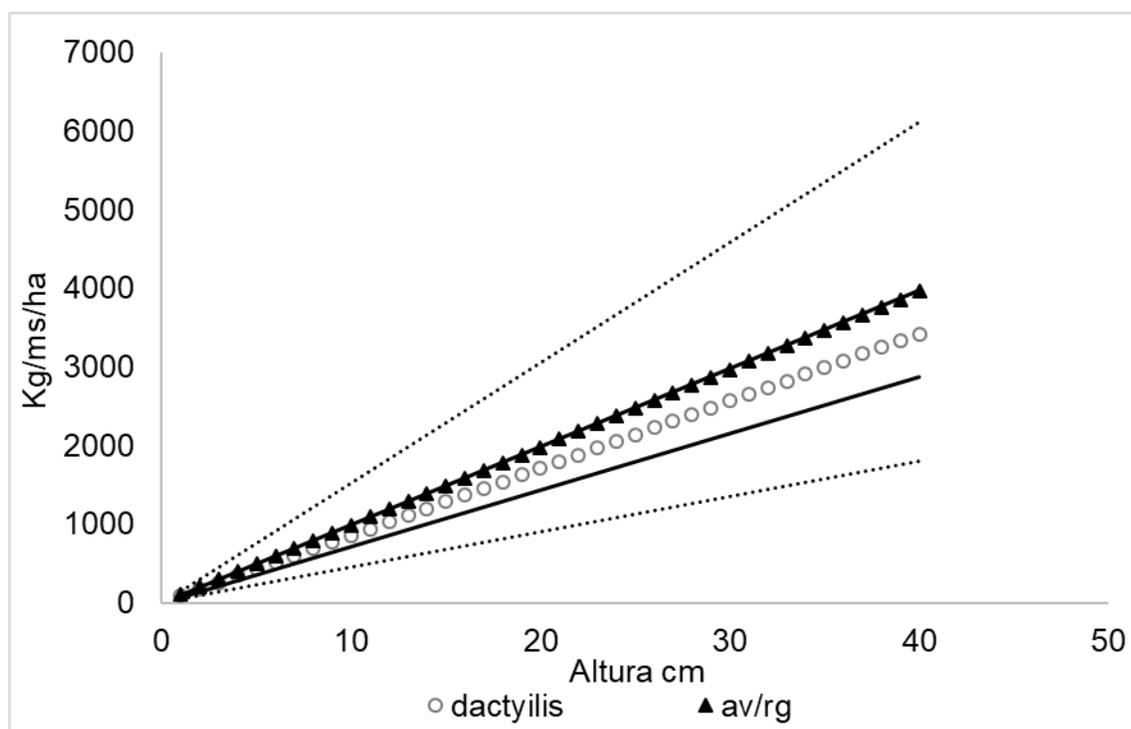
Figura No. 15. Comparación pendiente ecuación de alfalfa y pendiente de ecuación de dactylis



No se encontraron diferencias entre las pendientes de las ecuaciones para alfalfa y dactylis. El intervalo de confianza es similar para ambos recursos.

4.2.1.5 Comparación de la ecuación de dactylis y la ecuación de av/rg

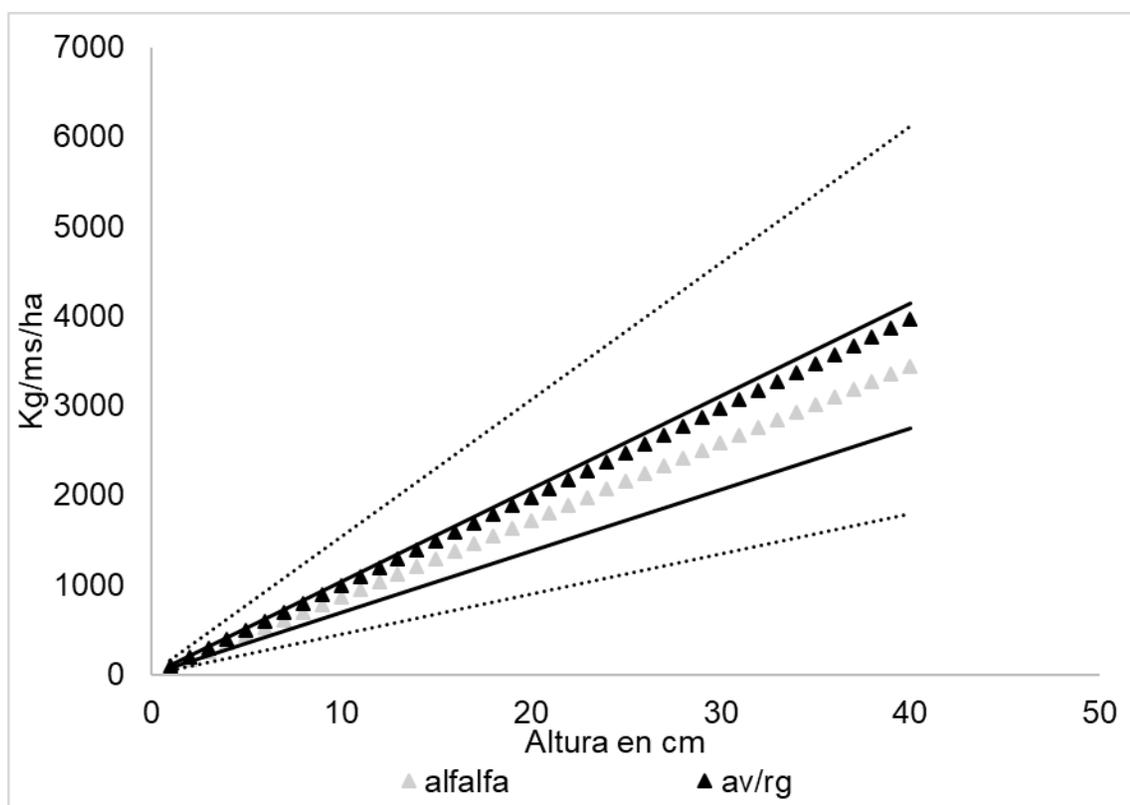
Figura No. 16. Comparación pendiente ecuación de av/rg y pendiente ecuación de dactylis



No se encontraron diferencias estadísticas entre las pendientes de las ecuaciones para avena y raigrás y dactylis. El intervalo de confianza de la ecuación para dactylis es menor

4.2.1.6 Comparación ecuación de alfalfa y ecuación de av/rg

Figura No. 17. Comparación pendiente ecuación de alfalfa y pendiente de ecuación de avena/raigrás



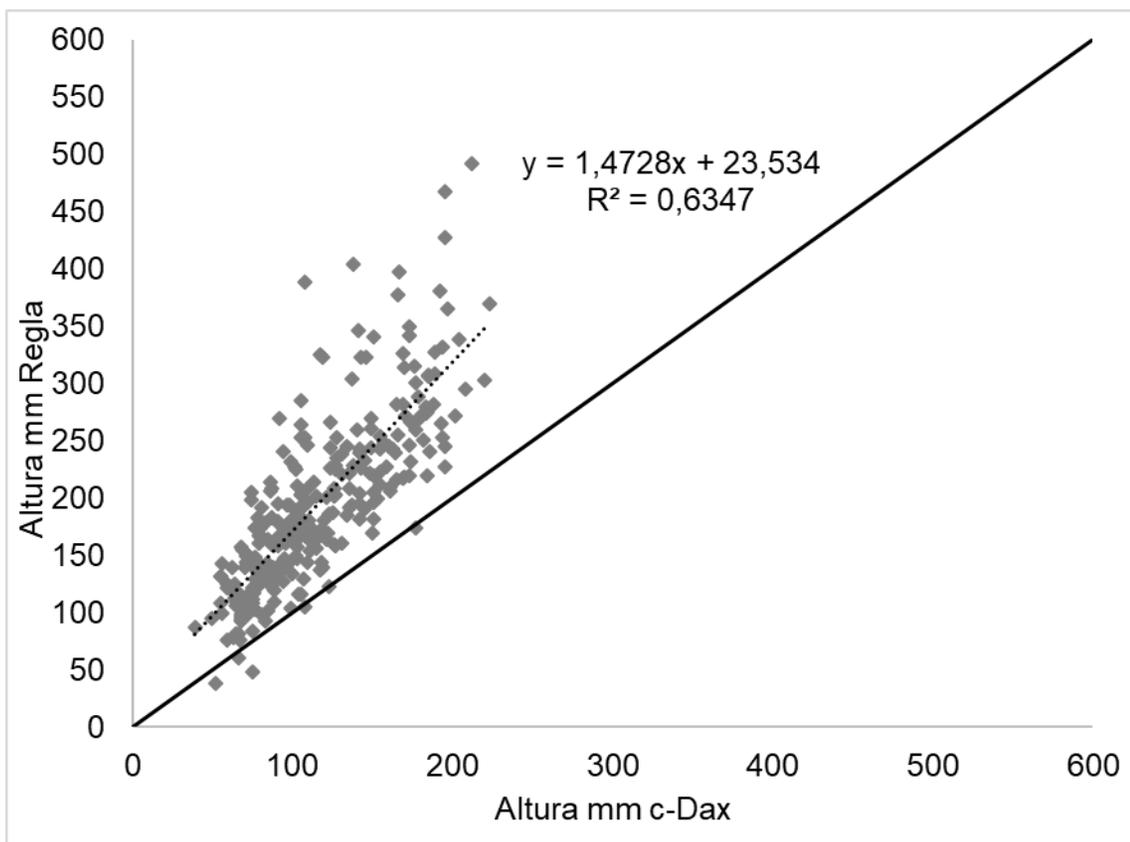
No se encontraron diferencias entre las pendientes de las ecuaciones para avena y raigrás y alfalfa. El intervalo de confianza de la ecuación de alfalfa es menor.

Se comparó las pendientes de las ecuaciones por recurso y sus intervalos con la ecuación general. No se encontraron diferencias. Es posible utilizar una única ecuación para estimar biomasa disponible utilizando como herramienta la regla.

4.3 COMPARACIÓN ENTRE C-DAX Y REGLA

Luego se compararon ambos métodos entre sí. Lo primero que se hizo fue comparar la altura expresada en milímetros medida por los dos métodos. A continuación, se presenta el gráfico.

Figura No. 18. Comparación altura medida con c-Dax y medida con regla

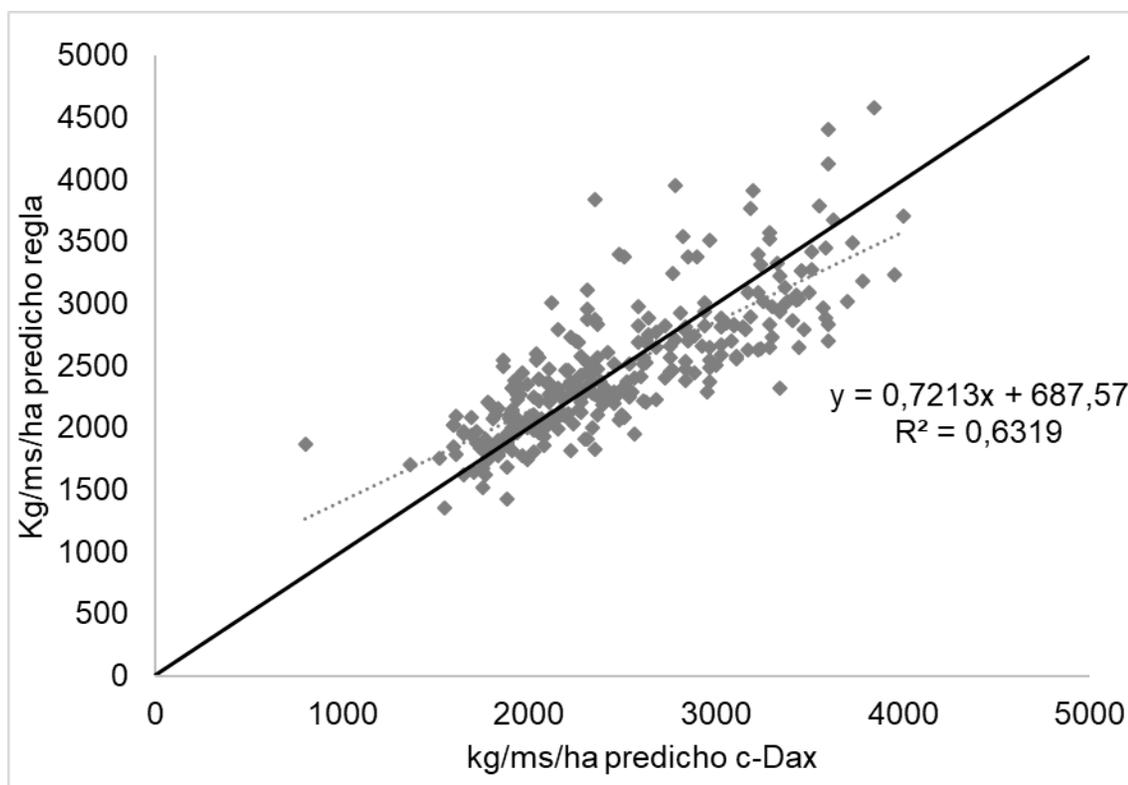


En la figura No. 18 se observa que existe una correlación lineal positiva entre la altura medida con c-Dax y la altura medida con regla. Se aprecia que el c-Dax subestima la altura medida con regla y esto se puede deber a la forma de medir que tienen ambos métodos.

Posteriormente se graficaron los valores predichos por la ecuación general para c-Dax y los valores predichos por la ecuación general para altura de regla. Cada uno de los puntos representa un corte donde se obtuvo una

medida de c-Dax, una medida de regla y kg MS ha. Se agrego una línea 1:1 para evaluar que método sobrestima frente al otro.

Figura No. 19. Comparación valores predichos por ecuación para regla y ecuación para c-Dax



En la figura No. 19 se observa como existe una correlación lineal entre ambos métodos. La ecuación resultante es $Y = 0,7213 \cdot X + 687,57$ y $r^2 = 0,63$. De 0 a 2500 kg predichos no se observan diferencias entre ambos métodos, los valores predichos se posicionan sobre la línea 1:1. A partir de 2500 kg predichos la ecuación de c-Dax sobreestima frente a la ecuación de regla.

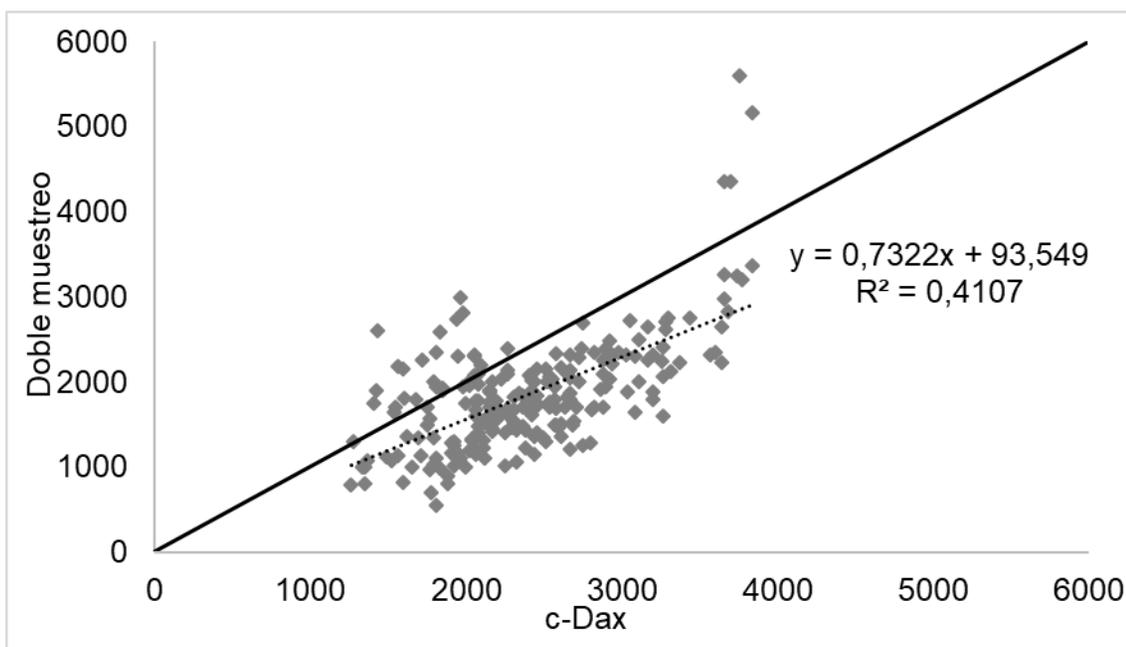
Luego se comparó valores predichos utilizando la ecuación general de c-Dax y la ecuación general de regla con sus intervalos de confianza utilizando un rango de altura que va de 10 a 250 mm.

4.4 COMPARACIÓN C-DAX Y DOBLE MUESTREO

Después, con la altura registrada con el c-Dax en cada uno de los potreros medida en toda la transecta se estimó disponibilidad utilizando la ecuación general y se comparó con la disponibilidad estimada con la técnica de doble muestreo. Cada punto de la figura No. 21 corresponde a los kilos estimados por el c-Dax y el doble muestreo para un potrero en una fecha determinada.

A continuación, se presenta en la figura No. 21 la disponibilidad utilizando la ecuación general en el eje de las X y la disponibilidad estimada con el doble muestreo en el eje de las Y.

Figura No. 20. Comparación disponibilidad estimada con c-Dax y con doble muestreo



Se observa que existe una correlación lineal entre la disponibilidad estimada con c-Dax y la estimada con doble muestreo. A partir de esta información se procedió a comparar las medias de los dos métodos.

Cuadro No. 7. Comparación de medias

n	Media (dif)	DE (dif)	LI (95%)	LS (95%)	T	Bilateral
219	-547,89	542,78	-619,98	-675,40	-14,93	<0,0001

Se procedió a comparar las medias de los dos métodos, la observación 1 es el doble muestreo y la observación 2 es el c-Dax. En el cuadro No. 5 se observa que existen diferencias entre las medias de los métodos. En promedio el c-Dax sobreestima 548 kg/ms/ha frente al doble muestreo.

5. DISCUSIÓN

5.1 CALIBRACIÓN C-DAX

No se encontraron diferencias entre las pendientes de las diferentes ecuaciones por recurso y el intervalo de confianza de la ecuación general para todos los recursos fue siempre menor. Por lo tanto, no se encontraron elementos para afirmar que las ecuaciones son diferentes y es posible utilizar una única ecuación que englobe todos los recursos: $Y=14,33*X+804,91$, $r^2=0,48$.

Todos los antecedentes (Lyons 2007, Oudshoorn et al. 2011, Loaiza et al. 2012, Schori 2015) obtuvieron coeficientes de determinación mayores a 0,7 frente a 0,48 que se obtuvo en este trabajo. Este trabajo se realizó de forma diferente a todos los antecedentes. En el caso de Lyons (2007) realizó 30 cortes para cada recurso durante noviembre y diciembre y el corte de biomasa lo hizo sobre una sección de 3 metros de largo. En este trabajo se realizaron 294 cortes durante 7 meses y se cortó en una sección de 6 metros de largo. En el caso del verdeo de invierno fue en el recurso que se obtuvo el mayor r^2 (0,62) pero tiene el mayor intervalo de confianza y un $n=30$. En este trabajo a medida que aumentó el número de cortes disminuyó el coeficiente de determinación, pero también lo hizo el intervalo de confianza y aumentó la precisión.

Oudshoorn et al. (2011) cortaron la biomasa con una cosechadora y dejaron un remanente. Por lo tanto, el forraje que pesaron para calibrar el c-Dax no es al ras del suelo como si se hizo en este trabajo. Esto genera una diferencia ya que la proporción de materia seca cambia en el perfil del forraje (King et al., 2010). La calibración de Oudshoorn et al. (2011) es válida para determinar la disponibilidad de biomasa en esa sección donde se cortó, pero tiene sus limitantes al determinar la biomasa total.

Schori (2015) calibró el c-Dax y para esto cortó biomasa en un rango de altura de 60 a 150 mm. En este trabajo más del 70% de los cortes se realizaron en ese rango, también se cortó con alturas mayores y menores. Esta diferencia en la metodología genera que exista diferencias, sobre todo en los cortes mayores a 150 mm donde aumenta más la variabilidad como se explicó anteriormente.

Si se compara la pendiente de la calibración local (14,33) con los antecedentes se observa que es muy similar a la reportada por Loaiza et al. (2012) (15,9), Schori (2015) (15,2), Insua et al. (2019) (17 y 15) y con la proporcionada por el fabricante (16,3).

Otros autores ajustaron otros modelos como es el caso de Lyons (2007) que para raigrás y alfalfa ajustó un modelo cuadrático y para cebadilla y kikuyo ajustó un modelo lineal con una pendiente de 25,17 y 6,35 respectivamente o Oudshoorn et al. (2011) que ajustaron un modelo logarítmico. Estos valores difieren de la calibración local y de los otros autores.

La ecuación del fabricante se encuentra por encima del intervalo de confianza calculado en la calibración del CRS por lo que estadísticamente se podría afirmar que son diferentes. Cabe resaltar que la ecuación reportada en el manual (c-Dax, 2016) no presenta IC reportado, por lo tanto, no es posible saber la dispersión que existe.

Además, las condiciones de calibración del instrumento para este trabajo se realizaron en un sistema lechero con una alta diversidad de situaciones donde se midió y cortó biomasa en situaciones pre pastoreo y postpastoreo en donde pastoreaban 4 lotes en un sistema de farmlet. Esto le da robustez frente a la ecuación del fabricante ya que esta se construyó de forma estática y con recursos forrajeros muy diversos.

5.2 CALIBRACIÓN REGLA

No se encontraron diferencias entre las ecuaciones específicas para cada recurso y una ecuación general. Por lo tanto, es posible utilizar una única ecuación $Y=71,15x+1082,2$, $r^2= 0,41$.

En Uruguay Montossi et al. (2013) calibraron la regla para *Avena sativa*, *Lolium multiflorum* y *Festuca arundinacea*, en situaciones de pre pastoreo y post pastoreo. En todos los casos obtuvieron coeficientes de determinación mayores a 0,41. Siempre lograron un mejor ajuste en situaciones de postpastoreo. Esto se puede deber a que las condiciones postpastoreo son más homogéneas, existe una menor variabilidad. A medida que aumenta la disponibilidad, aumenta la dispersión y por lo tanto existe una mayor variabilidad. La proporción de materia seca es mayor en los primeros centímetros de la planta y va disminuyendo dicha proporción a medida que aumenta la altura, esto genera que, a mayores alturas de biomasa, aumente la variabilidad de la estimación (King et al., 2010).

5.3 COMPARACIÓN C-DAX Y REGLA

Existe una correlación lineal y positiva entre ambos métodos, la ecuación de predicción es $y = 1,47x + 23,53$, $r^2 = 0,6347$. Existe una alta correlación entre los métodos midiendo el forraje en pequeñas secciones (6 metros) donde se calibraron, pero siempre el c-Dax subestimó la altura en la sección. Esto se debe a la forma de medir de cada uno de los instrumentos. Para la altura de regla se tomaron 10 medidas al contacto de la última hoja que luego se promediaron donde puede existir un efecto operativo en el sitio de colocación de la misma. Para el caso del c-Dax este instrumento toma 200 mediciones por segundo, por lo tanto, registra un mayor número de espacio vacío, entonces el promedio de altura siempre es menor además de establecer una independencia entre operarios (Rennie et al. 2009, King et al. 2010).

Si bien existe una alta correlación entre los métodos para medir altura es esperable que a nivel de potrero el método que nos proporcione más medidas, en este caso el c-Dax va a lograr captar mejor la heterogeneidad a nivel de potrero. Al aumentar la heterogeneidad a nivel de potrero es necesario aumentar el número de muestras para determinar la disponibilidad de biomasa (Hutchinson et al., 2016)

Para la comparación de biomasa disponible predicha por cada uno de los métodos con una única ecuación la correlación fue lineal y positiva, y la ecuación de predicción fue representada por $y = 0,7213x + 687,57$ $r^2 = 0,6319$. Hasta valores de 2500 kg ms/ha no existen diferencias entre los métodos. Sin embargo, a valores mayores a 2500 kg/ms/ha el c-Dax sobrestima la disponibilidad frente a la regla.

De acuerdo a la forma de medir de ambos métodos es posible que el c-Dax sea capaz de representar de mejor manera la altura promedio del potrero. Como aspecto negativo el c-Dax no selecciona especies deseadas de no deseadas, por lo tanto, mide todo lo presente en el campo como puede ser inflorescencias o malezas (King et al., 2010).

5.4 COMPARACIÓN C-DAX Y DOBLE MUESTREO

Existió una correlación lineal positiva entre ambos métodos, la ecuación de correlación es $y = 0,73x + 93,55$, $r^2 = 0,41$. El c-Dax sobreestima la disponibilidad frente al doble muestreo. En promedio esa diferencia fue de 548 kg/ms/ha. Si esa diferencia se mantiene constante se podría utilizar el c-Dax a nivel de potrero para estimar biomasa disponible. Otra aplicación del c-Dax es

registrar el valor de altura promedio de cada potrero. Saber si está aumentando, disminuyendo o se mantiene constante el valor de altura promedio del potrero es un mecanismo de control. Con esa información es posible monitorear el potrero y el sistema y poder tomar medidas de control, independientemente de los kilos de materia seca estimados.

El doble muestreo tiene un componente visual que se calibra mediante los cortes lo que lleva tiempo y aprendizaje. El operario juega un rol fundamental en la aplicación de la técnica del doble muestreo. Sin embargo, con el c-Dax es posible muestrear áreas más grandes y se minimiza el efecto del operario (King et al., 2010).

6. CONCLUSIONES

Tanto para el c-Dax como para la regla no se encontraron diferencias entre las ecuaciones por recurso y la ecuación general. Por lo tanto, es posible utilizar una única ecuación general para cada uno de los métodos.

Existe una alta correlación en la altura medida por la regla y por el c-Dax. Tanto la ecuación única de c-Dax como la ecuación única de regla se correlacionan positivamente para estimar biomasa hasta 2500 kg, a partir de ahí si existen diferencias entre los métodos. A medida que aumentan los valores de biomasa el c-Dax sobreestima frente a la regla. Es posible utilizar ambos métodos para determinar altura y estimar biomasa.

Cuando se comparó el c-Dax frente al doble muestreo se encontró una correlación lineal entre la estimación de ambos métodos. El c-Dax en promedio sobreestimo la disponibilidad en comparación con el doble muestreo. El c-Dax es una herramienta rápida, sencilla de utilizar que no requiere entrenamiento previo y nos permite tener un valor de altura promedio del potrero. En cambio, el doble muestreo es una técnica que nos permite determinar con precisión la disponibilidad de biomasa, pero requiere más tiempo y entrenamiento.

7. RESUMEN

Actualmente un 70 % de la producción lechera de Uruguay se exporta. Esto ocasiona una alta exposición a la volatilidad de los precios. Frente a esta situación es necesario ser competitivos y para esto es necesario tener costos bajos y controlados. Numerosos autores afirman que para bajar costos y ser competitivos los sistemas lecheros deben producir y cosechar más forraje. Contar con herramientas precisas, confiables y de fácil utilización para estimar biomasa disponible es muy importante. El objetivo general de este trabajo fue calibrar dos herramientas el c-Dax y la regla para estimar biomasa disponible en diferentes recursos forrajeros. Los objetivos particulares fueron comparar ambas herramientas entre ellas en la sección de calibración, comparar la ecuación de calibración del c-Dax con la brindada por el fabricante y también comparar el c-Dax con la técnica de doble muestreo a nivel de potrero. Se concluye que es posible utilizar una única ecuación para todos los recursos forrajeros tanto para el c-Dax como para la regla. Existe una alta correlación en la altura medida por la regla y el c-Dax y los kilos estimados por las diferentes ecuaciones de calibración en la sección de calibración. Existe una correlación lineal y positiva entre la biomasa determinada por el doble muestreo y la estimada por el c-Dax.

Palabras clave: Estimación de forraje; Métodos de estimación; c-Dax; Regla.

8. SUMMARY

Currently 70% of Uruguay's milk production is exported. This causes high exposure to price volatility. Faced with this situation it is necessary to be competitive and for this it is necessary to have low and controlled costs. Numerous authors affirm that to reduce costs and be competitive, dairy systems must produce and harvest more forage. Having accurate, reliable and easy-to-use tools to estimate available biomass is very important. The general objective of this work was to calibrate two tools, the c-Dax and the rule to estimate available biomass in different forage resources. The particular objectives were to compare both tools with each other in the calibration section, compare the calibration equation of the c-Dax with that provided by the manufacturer and also compare the c-Dax with the double sampling technique at the paddock level. It is concluded that it is possible to use a single equation for all forage resources for both the c-Dax and the rule. There is a high correlation in the height measured by the ruler and the c-Dax and the forage estimated by the different calibration equations in the calibration section. There is a linear and positive correlation between biomass determined by double sampling technique and that estimated by c-Dax.

Keywords: Forage estimation; Estimation methods; c-Dax; Rule.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. 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.
2. Carámbula, M. 2002. Pasturas y forraje: potenciales y alternativas para producir forrajes. Montevideo, Hemisferio Sur. v. 1, 357 p.
3. c-Dax. 2016. Operation Manual. Universal Controller. C-Dax Smart Control. 2400-6657 – 4. Palmerston North, New Zealand. 46 p.
4. Chilibroste, P.; Soca, P.; Mattiauda, D. A. 2011. Balance entre oferta y demanda de nutrientes en sistemas pastoriles de producción de leche: potencial de intervención al inicio de la lactancia. In: Congreso Latinoamericano de Buiatría (15°), Jornadas Uruguayas de Buiatría (39as., 2011, Paysandú). Memorias. Paysandú, CMVP. pp. 91-97.
5. _____.; Battezzato, G. 2014. Proyecto producción competitiva. Montevideo, CONAPROLE. 31 p.
6. _____. 2015. ¿Carga o productividad individual? ¿Pasto o concentrado?: mitos y realidades en la intensificación de los sistemas de producción de leche en Uruguay. In: Congreso Latinoamericano de Buiatría (19°), Jornadas Uruguayas de Buiatría (43as., 2015, Paysandú). Memorias. Paysandú, CMVP. s. p.
7. Dillon, P.; Crosse, S.; Stakelum, G.; Flynn, F. 1995. The effect of calving date and stocking rate on the performance of spring calving dairy cows. *Grass and Forage Science*. 50: 286-299.
8. Durán, H. 2004. El camino de la lechería. *Revista INIA*. no. 1:6-9.
9. Fariña, S.; Tuñón, G.; Pla, M.; Martínez, R. 2017. Sistema de pastoreo: guía práctica para la implementación de un sistema de pastoreo. Montevideo, INIA. 34 p. (Boletín de Divulgación no. 115).
10. _____.; Chilibroste, P. 2019. Opportunities and challenges for the growth of milk production from pasture: the case of farm systems in Uruguay. *Agricultural Systems*. 176: s.p.
11. García, F.; Artagaveytia, J.; Bagnato, G.; Baraibar, M.; Guidice, G.; Pedemonte, A. 2015. Eficiencia técnica y de escala en lechería:

reporte de datos utilizando base de datos IFCN. Montevideo, INALE. 37 p.

12. Haydock, K. P.; Shaw, N. H., 1975. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 15: 663-670.
13. Holmes, C. W.; Roche J. R. 2007. Pastures and supplements in dairy production systems. *In*: Rattray, P. V.; Brookes, I. M.; Nicol, A. M. eds. *Dairy production systems: pasture and supplements for grazing animals*. Hamilton, New Zealand, Society of Animal Production. pp. 221-242.
14. Hutchinson, K. J.; Scobie, D. R.; Beutrais, J.; Mackay, A. D.; Rennie, G. M.; Moss, R. A.; Dynes, R. A. 2016. A protocol for sampling pastures in Hill country. *Journal of New Zealand Grasslands*. 78: 203-210.
15. IFCN (International Farm Comparison Network, DE). 2013. *Reseña general de los precios de la leche y costos de producción a nivel mundial*. Kiel. 9 p.
16. Insua, J. R.; Utsumi, S. A.; Basso, B. 2019. Estimation of spatial and temporal variability of pasture growth and digestibility in grazing rotations coupling unmanned aerial vehicle (UAV) with crop simulation models. *Plos One*. 14 (3): 1-21.
17. 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*. 27 (1): 130-131.
18. King, W.; Rennie, G. M.; Dalley, D. E.; Dynes, R. A.; Upsdell, M. P. 2010. Pasture mass estimation by the C-DAX Pasture Meter: regional calibrations for New Zealand. *In*: *Australasian Dairy Science Symposium (4th., 2010, Lincoln University)*. Proceedings. Christchurch, s.e. pp. 233-238.
19. Leborgne, R. 1984. *Antecedentes técnicos y metodología para presupuestación en establecimientos lecheros*. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. 54 p.
20. Loaiza, P.; Pérez, A.; Balocchi, O.; Casas, F.; Cussen, R. 2012. Estimación de la fitomasa presente en praderas de *Lolium perenne* L. mediante C-Dax Pasture Meter en el sur de Chile. *In*: *Congreso Sociedad Chilena de Producción Animal (37°.., 2012,*

Termas de Catillo). Libro de resúmenes. Catillo, Sochipa. pp. 175-176.

21. López-Guerrero, I.; Fontenot, J.; García-Peniche, T. 2011. Comparaciones entre cuatro métodos de estimación de biomasa en praderas de Festuca alta. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias. 2 (2): 209-220.
22. Lyons, N. 2007. Calibración de un nuevo método de estimación indirecta de disponibilidad forrajera en pasturas típicas de Australia. Tesis Ing. Agr. Buenos Aires, Argentina. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. 55 p.
23. Mc Meekan, C. P.; Walshe, M. J. 1963. The inter-relationships of grazing method and stocking rate in the efficiency of pasture utilization by dairy cattle. The Journal of Agriculture Science. 61: 147-166.
24. Mattiauda, D. A.; Chilibroste, P.; Bentancur, O.; Soca P. 2009. Intensidad de pastoreo y utilización de pasturas perennes en sistemas de producción de leche: ¿qué niveles de producción permite y que problemas contribuye a solucionar? In: Congreso Latinoamericano de Buiatría (13°.), Jornadas Uruguayas de Buiatría (37as., 2009, Paysandú). Memorias. Paysandú, CMVP. s.p.
25. MGAP. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias, UY). 2007. Anuario estadístico agropecuario. Montevideo. 192 p.
26. _____. _____. 2014. Anuario estadístico agropecuario. Montevideo. 243 p.
27. _____. _____. 2016. Anuario estadístico agropecuario. Montevideo. 198 p.
28. _____. _____. 2017. Anuario estadístico agropecuario. Montevideo. 214 p.
29. _____. DIRENARE (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Recursos Naturales Renovables, UY). s.f. Carta de suelos del Uruguay. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 18 may. 2018. Disponible en <http://web.renare.gub.uy/js/visores/coneat/>
30. Millapán, L. 2014. Estimación de biomasa aérea en pasturas templadas de sistemas lecheros pastoriles. Tesis Ing. Agr. Buenos Aires, Argentina. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. 63 p.

31. Moliterno, E. 1997. Estimación visual de la disponibilidad de forraje en pasturas. Principios y usos de método de doble muestreo. *Cangüé*. no. 9: 32-36.
32. 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*: Montossi, F.; De Barbieri, I. eds. *Tecnologías de engorde de corderos pesados sobre pasturas cultivadas en Uruguay*. Montevideo, INIA. 159-182 (Serie Técnica no. 206).
33. OCLA (Observatorio de la Cadena Láctea, AR). 2016. *Lechería mundial: principales aspectos*. (en línea). Buenos Aires. s.p. Consultado 5 may. 2018. Disponible en <http://www.ocla.org.ar/contents/newschart/portfolio/?categoryid=8>
34. Ortega, G.; Nuñez, T.; Custodio, D.; Mello, R.; López, Y.; Chilibroste, P. 2018. Effect of stocking rate on pasture production and utilization on a grazing dairy system during winter and spring. *In*: American Dairy Science Association Annual Meeting (40th., 2018, Knoxville, Tennessee). Abstracts. Knoxville, American Dairy Science Association. p. 257.
35. Oudshoorn, F. W.; Hansson, S. L.; Hansen, H. 2011. Calibration of the C-Dax Pasture Meter in a Danish grazing system. *Grassland Farming and Land Management Systems in Mountainous Regions. Grassland Science in Europe*. 16:166-168.
36. Pravia, M.; Montossi, F.; Gutiérrez, D.; Ayala, W.; Andregnette, B.; Invernizzi, G.; Porcile, V. 2013. Estimación de la disponibilidad de pasturas y forrajes en predios de GIPROCAR II. Ajuste del "Rising plate meter" para las condiciones de Uruguay. (en línea). *In*: Montossi, F. ed. *Invernada de precisión: pasturas, calidad de carne, genética, gestión empresarial e impacto ambiental (GIPROCAR II)*. Montevideo, INIA. cap. 3, pp. 31-67 (Serie Técnica no. 211).
37. Rebuffo, M.; Risso, D.; Restaino, E. 2000. *Tecnología en alfalfa*. Montevideo, INIA. 159 p. (Boletín de Divulgación no. 69).
38. Rennie, G. M.; King, W.; Puhá, M. R.; Dalley, D. E.; Dynes, R. A.; Upsdell, M. P. 2009. Calibration of the C-DAX Rapid Pasturemeter and the rising plate meter for kikuyu-based Northland dairy pastures. *New Zealand Grassland Association*. 71: 49-55.

39. Sanderson, M. A.; Rotz, C. A.; Fultz, S. W.; Rayburn, E. B. 2001. Estimating forage mass with a commercial Capacitance Meter, Rising Platemeter and Pasture Ruler. *Agronomy Journal*. 93: 1281-1286.
40. Schori, F. 2015. Sward surface height estimation with a rising plate meter and the C-Dax Pasture meter. *Grassland Science in Europe*. 20: 310-312.
41. Virkajarvi, P. 1999. Comparison of three indirect methods for prediction of herbage mass on timothy-meadow fescue pastures. *Soil and Plant Science*. 49: 75-81.

10. ANEXOS

c-Dax



Pantalla c-Dax



Sección de calibración

