



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Medicina Veterinaria

Escuela Profesional de Medicina Veterinaria

**Evaluación del plato medidor de pasto EC20 como
alternativa al método directo para la estimación del
rendimiento en pasturas asociadas en la sierra central**

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Para optar el Grado Académico de Bachiller en Medicina
Veterinaria

AUTOR

Maria Antonia YUPANQUI PIMENTEL

ASESOR

Ronald JIMÉNEZ ALIAGA

Lima, Perú

2022



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Yupanqui M. Evaluación del plato medidor de pasto EC20 como alternativa al método directo para la estimación del rendimiento en pasturas asociadas en la sierra central [Trabajo de investigación de bachiller]. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Medicina Veterinaria, Escuela Profesional de Medicina Veterinaria; 2022.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Maria Antonia Yupanqui Pimentel
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	72284500
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Ronald Jiménez Aliaga
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	20062681
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-1828-2240
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Miguel Angel Ara Gómez
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	00064196
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Juan Pavel Olazábal Loaiza
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	20050845
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Jeam David Rojas Egoavil
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	40129808
Datos de investigación	
Línea de investigación	B.4.2.2. Zootecnia y producción agropecuaria

Grupo de investigación	Grupo de Investigación Sistemas Productivos Sostenibles en Altura
Agencia de financiamiento	Perú. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Vicerrectorado de Investigación y Posgrado. Programa de Promoción de Tesis de Pregrado. Código A21082121.
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Junín Provincia: Jauja Distrito: El Mantaro Latitud: -11.83292 Longitud: -75.39562
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2021 – 2022
URL de disciplinas OCDE	Ciencia Veterinaria https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#4.03.01



Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú, Decana de América
Facultad de Medicina Veterinaria
Escuela Profesional de Medicina Veterinaria

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACION PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER EN MEDICINA VETERINARIA

En el Auditorio Principal de la Facultad de Medicina Veterinaria, el día martes 1 de febrero de 2022 a las 12:00 horas, se constituyó el Jurado Examinador designado mediante Resolución Directoral 0219-EPMV/FMV-2021, integrado por los siguientes profesores:

PhD. Ing. Agr.	Ara Gómez, Miguel Angel	Presidente del Jurado
MV. Mg.	Jiménez Aliaga, Ronald	Asesor de la Tesis
Ing. Mg.	Olazábal Loaiza, Juan Pavel	Miembro del Jurado
Ing. Agr. Mg.	Rojas Egoavil, Jeam David	Miembro del Jurado

Luego de la instalación del Jurado, a cargo del Presidente del Jurado y bajo la dirección del mismo, la Bachiller Doña: **YUPANQUI PIMENTEL, MARIA ANTONIA**, procedió a sustentar públicamente su trabajo de investigación:

“EVALUACIÓN DEL PLATO MEDIDOR DE PASTO EC20 COMO ALTERNATIVA AL MÉTODO DIRECTO PARA LA ESTIMACIÓN DEL RENDIMIENTO EN PASTURAS ASOCIADAS EN LA SIERRA CENTRAL”

Una vez terminado de absolverse las preguntas del Jurado y del público asistente, el Jurado deliberó con la abstención reglamentaria del Asesor de trabajo de investigación y acordó su **APROBACIÓN** por **UNANIMIDAD**, otorgándole la nota final de diecisiete (17).

Habiéndose aprobado la sustentación pública de trabajo de investigación, el Presidente en representación del Jurado recomienda que la Escuela Profesional de Medicina Veterinaria proponga la aprobación del **GRADO DE BACHILLER DE MEDICINA VETERINARIA** a la Facultad de Medicina Veterinaria y que ésta proponga al Rectorado el otorgamiento respectivo.

Siendo las 13:35 horas, concluyó el acto académico de sustentación pública de trabajo de investigación en fe de lo cual suscriben la presente acta por cuadruplicado los integrantes del Jurado:



Firmado digitalmente por ARA
GOMEZ Miguel Angel FAU
20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 22.03.2023 09:43:12 -05:00

PhD. Ing. Agr. Ara Gómez, Miguel Angel



Firmado digitalmente por OLAZABAL
LOAIZA Juan Pavel FAU
20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 05.02.2023 11:21:38 -05:00

Ing. Mg. Olazábal Loaiza, Juan Pavel



Firmado digitalmente por JIMENEZ
ALIAGA Ronald FAU 20148092282
soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 05.02.2023 07:30:17 -05:00

MV. Mg. Jiménez Aliaga, Ronald



Firmado digitalmente por ROJAS
EGOAVIL Jeam David FAU
20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 21.03.2023 19:00:11 -05:00

Ing. Agr. Mg. Rojas Egoavil, Jeam David



Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA
Facultad de Medicina Veterinaria
Escuela Profesional de Medicina Veterinaria
ep.veterinaria@unmsm.edu.pe
"AÑO DE LA UNIVERSALIZACIÓN DE LA SALUD"



INFORME DE EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD

Trabajo de Investigación para optar el Grado de Bachiller en Medicina Veterinaria

1. Facultad: Medicina Veterinaria
2. Escuela: Medicina Veterinaria
3. Autoridad académica que emite el informe de originalidad: Escuela Profesional de Medicina Veterinaria.
4. Apellidos y Nombres de la Autoridad Académica: Santiani Acosta, Alexei Vicent
5. Operador del Programa Informático de similitudes: Sandoval Monzón Rocío Silvia.
6. Documento evaluado: *"Evaluación del plato medidor de pasto EC20 como alternativa al Método directo para la estimación del rendimiento en pasturas asociadas en la sierra central"*.
7. Autor del documento: Maria Antonia Yupanqui Pimentel.
8. Fecha de recepción del documento: 28 de marzo del 2023.
9. Fecha de aplicación del programa informático: 28 de marzo del 2023.
10. Software utilizado
 - Turnitin
11. Configuración del programa detector de similitudes:
 - Excluye citas
 - Excluye bibliografía
 - Excluye cadenas menores de 40 palabras
12. Porcentaje de similitudes según programa detector de similitudes: 5%
13. Fuentes originales de similitudes encontradas:
 - www.ainfo.inia.uy: 2%
 - www.scielo.org.mx: 1%
 - Ciencia.lasalle.edu.co: 1%
 - Hdl.handle.net: <1%
 - www.opia.cl: <1%
 - Repositorio.ana.gob.pe: <1%
 - praderasypasturas.com: <1%
14. Observaciones: el mayor porcentaje de las similitudes halladas en el Trabajo de Investigación evaluada se encuentran en las secciones de índice de contenido.
15. Calificación de originalidad:
DOCUMENTO CUMPLE CRITERIOS DE ORIGINALIDAD, SIN OBSERVACIONES.

Fecha del informe: 28 de marzo del 2023



Firmado digitalmente por SANTIANI
ACOSTA Alexei Vicent FAU
20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 29.03.2023 09:41:52 -05:00

Dr. Alexei Vicent Santiani Acosta
Director EPMV

DEDICATORIA

Principalmente a Dios, por permitirme llegar hasta aquí.

A mis abuelitas, Antonia y Luzmila, mis ángeles que me cuidan y protegen cada día. Un beso enorme hasta el cielo para ellas.

A Roberto y Aida, mis padres, por sus infinitos esfuerzos para impulsar mi desarrollo personal y profesional.

AGRADECIMIENTOS

A toda la plana docente de la Facultad de Medicina Veterinaria de la UNMSM, por la dedicación en nuestra formación profesional.

A mi asesor, Dr. Ronald Jiménez, por la oportunidad de llevar a cabo este Trabajo de Investigación, el tiempo dedicado en la revisión del presente documento y por permitirme formar parte del Proyecto de Desarrollo de Sistemas de Gestión de Recursos Forrajeros.

A mi familia, por impulsarme constantemente a perseguir mis sueños.

ÍNDICE

	Pág.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE	iv
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE CUADROS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
I. CAPÍTULO 1:	
INTRODUCCIÓN.....	1
II. CAPÍTULO 2: EL PROBLEMA DE LA CARENCIA DE INFORMACIÓN SOBRE USO DE PASTOS EN LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN PECUARIO DE SIERRA.....	4
2.1. Motivación.....	4
2.2. Antecedentes.....	4
2.3. Vacíos de información.....	6
2.4. Bases teóricas.....	6
2.4.1. Materia seca.....	6
2.4.2. Métodos para estimar el rendimiento en materia seca.....	7
2.4.3. Importancia de la disponibilidad de biomasa forrajera.....	8
2.5. Definición detallada del problema.....	8
III. CAPÍTULO 3: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	
3.1. Sistemas productivos pecuarios en la Sierra de Perú.....	10

3.2. Pastos cultivados en la alimentación animal.....	10
3.3. Método directo	12
3.3.1. Método del corte y pesado.....	12
A. Estimación de la producción de biomasa forrajera.....	14
B. Factores que alteran el porcentaje de biomasa forrajera.....	15
B.1 Estado fenológico de las pasturas.....	15
B.1.1 Estado vegetativo.....	16
B.1.2 Estado reproductivo.....	17
B.2 Condiciones climáticas.....	18
3.4. Métodos indirectos	18
3.4.1. Método visual.....	19
3.4.2. Capacitancia electrónica.....	19
3.4.3. Plato medidor de pastos.....	20
A. Tipos de plato medidor de pastos.....	21
A.1. Plato medidor descendente.....	21
A.2 Plato medidor ascendente.....	21
B. Determinación de la ecuación para la estimación de materia seca.....	22
3.4.4. Imagenología espectroscópica.....	24
3.5. Análisis comparativo entre métodos de estimación de biomasa.....	26
3.6. Uso del Plato medidor en productores.....	32
IV. CAPÍTULO 4: PERSPECTIVAS TECNOLÓGICAS EN LA MEDICIÓN DE BIOMASA DE PASTOS.....	34
4.1. Alcance y limitaciones en el uso del Plato medidor.....	34

4.2. Perspectivas en la aplicación de tecnologías para la gestión eficiente de pastos.....	34
V. CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES.....	36
VI. LITERATURA CITADA.....	37

RESUMEN

La producción pecuaria en la sierra central es deficiente por no contar con una buena gestión de recursos, principalmente alimenticios. Los productores de la sierra central tienen procesos empíricos y limitaciones técnicas para la medición de sus praderas, originando deficiencia en sus parámetros productivos, por ello, es necesario evaluar un método que sea práctico para la medición de rendimiento de pasturas. La biomasa forrajera se puede estimar por métodos directos e indirectos. La optimización de uso de praderas, en los sistemas de producción pecuaria, está supeditado a la disponibilidad de materia seca (MS), la que permite ajustar la adecuada carga animal. El método directo generalmente se realiza en actividades de investigación por su exactitud en la estimación disponible de la biomasa forrajera; sin embargo, no resulta práctico para los productores del Valle del Mantaro, debido que el procedimiento de la toma de muestra y procesamiento conlleva entrenamiento, equipos especiales y el empleo de un tiempo considerable. El plato medidor de pastos, es un método indirecto que tiene mayores alcances tecnológicos, permitiendo realizar mayor cantidad de muestras en menor tiempo y por consiguiente reduciendo costos. Los productores del Valle del Mantaro se beneficiarían con el uso del plato medidor de pastos modelo EC20, pues facilitaría su labor, brindándole mayor información para mejorar la toma de decisiones en el sistema productivo pecuario.

Palabras claves: biomasa forrajera, pradera, plato medidor de pastos, materia seca, sierra central.

ABSTRACT

Livestock production in the central highlands is deficient due to the lack of good resource management, mainly food. Producers in the central highlands have empirical processes and technical limitations for measuring their pastures, causing a deficiency in their productive parameters; therefore, it is necessary to evaluate a practical method for measuring pasture yield. Forage biomass can be estimated by direct and indirect methods. The optimization of pasture use in livestock production systems depends on the availability of dry matter (DM), which allows adjusting the appropriate stocking rate. The direct method is generally used in research activities because of its accuracy in the available estimate of forage biomass however, it is not practical for Mantaro Valley producers because the sampling and processing procedure involves training, special equipment and considerable time. The pasture measuring plate is an indirect method that has a greater technological scope, allowing a greater number of samples to be taken in less time, thus reducing costs. Producers in the Mantaro Valley would benefit from the use of the EC20 pasture measuring plate, since it would facilitate their work, providing them with more information to improve decision-making in the livestock production system.

Keywords: Forage biomass, pasture, pasture measuring plate, dry matter, central highlands.

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Características de las principales especies de pastos cultivados en el Valle del Mantaro.....	11
Cuadro 2. Producción de biomasa de <i>Phalaris arundinacea</i> con tres edades de cosecha en Cartago.....	16
Cuadro 3. Contenido de los principales componentes de la pared celular del pasto alpiste con sus edades fenológicas.....	17
Cuadro 4. Ventajas y desventajas de diferentes métodos de estimación de rendimiento de pastos.....	25
Cuadro 5. Disponibilidad de MS (kg/ha) con el plato medidor a una altura promedio de 12cm, en praderas permanentes de Chile y Nueva Zelanda según la época del año.....	27
Cuadro 6. Disponibilidad de materia seca a diferentes alturas comprimidas según la estación del año en Temuco, Valdivia y Osorno en Chile.....	27
Cuadro 7. Valores obtenidos de la regresión lineal simple para calibrar el plato medidor de pasturas en Ecuador.....	28
Cuadro 8. Ecuaciones de calibración de la masa forrajera de tres métodos indirectos: capacitancia electrónica, el plato medidor de pastos y la estimación visual.....	30
Cuadro 9. Ecuaciones de calibración para los distintos tipos de pasturas en Uruguay.....	31
Cuadro 10. Estimaciones de parámetros B0 y B1 según el tipo de pasturas permanentes.....	31

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Método de corte.....	14
Figura 2. El capacitómetro “Grass Master”.....	20
Figura 3. Plato medidor de pastos.....	22
Figura 4. Estimación de la biomasa forrajera.....	24
Figura 5. Representación gráfica de la ecuación lineal simple entre la altura comprimida obtenido con el plato medidor de pastos y la materia seca obtenida del método de corte y pesado.....	29
Figura 6. Ganadera de la provincia de Tungurahua que emplea el Plato medidor en sus pasturas.....	33

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

La actividad pecuaria en la sierra central es mayormente empírica, de subsistencia y con muchas deficiencias tecnológicas para el uso sostenible de sus recursos (Alzamora *et al.*, 2001; Barreto, 2017). Son muchos los factores que influyen en los costos de un sistema de producción pecuario, destacando la gestión de los recursos de alimentación, que llega a representar entre 50%, en la sierra (R. Jiménez, Jauja, Comunicación personal), y 70% en la costa (Alvarado, 2015), motivo por el cual toda decisión relacionada a este tema, merece un análisis objetivo para que contribuya a la eficiencia y sostenibilidad del sistema pecuario.

En la gestión eficiente de un sistema productivo, que se espera obtener la mayor cantidad de producto, recurso y tiempo por unidad productiva, es importante llevar un control de los recursos que ingresan y los productos que se obtienen en el sistema (Barreto, 2017; Cantaro, 2017). En ese sentido, la disponibilidad de información relacionada a los animales y al alimento, adecuadamente sistematizada y aplicando tecnologías de información digital conlleva a un alto grado de eficiencia y sostenibilidad (Nikitina, 2021).

Los sistemas productivos pecuarios de la sierra peruana, incluyendo los más desarrollados, tienen serias deficiencias con el registro y control de datos sobre los recursos que utilizan, pues solo un 20% de productores registra algún tipo de información mínima, la cual no incluye datos de recursos alimenticios (Laforé *et al.*, 1999; Cantaro, 2017). Ante esta limitación, los productores manejan estimaciones subjetivas de algunos indicadores de sus sistemas productivos, entre ellos ingresos y egresos, y sobre esa subjetividad toman decisiones y asumen que sus sistemas productivos son sostenibles y rentables. A este manejo empírico de la economía se suma la complejidad del sistema, con diferentes actividades productivas, cuyas cuentas van mezcladas, inclusive con los gastos domésticos familiares (Mayer, 2008). Esa carencia de información objetiva dificulta la identificación de problemas e implementación de acciones de mejora (Wirén-Lehr, 2001).

Respecto al manejo alimenticio, los productores pecuarios del valle del Mantaro usan diferentes tipos de insumos alimenticios, siendo los más destacados los pastos, los rastrojos y subproductos de cosecha; y en los más tecnificados, los concentrados comerciales (Laforé *et al.*, 1999). El uso de pastos asociados, gramíneas con leguminosas, ha dado buenos resultados en el engorde ovinos con un adecuado manejo de la carga en sistemas de pastoreo (Huamán *et al.*, 2000; Torero, 2002); pero la mayoría de productores utiliza el corte y acarreo. No obstante, lo cierto es que, independientemente del uso de insumos alimenticios, los productores no cuantifican la cantidad de recurso alimenticio que emplean en la producción animal y por tal motivo resulta difícil estimar el costo de alimentación; así como indicadores de costo beneficio (Alvarado, 2015).

Los sistemas productivos ganaderos más sostenibles y rentables utilizan pasturas, y uno de los principales datos informativos para el uso eficiente de las pasturas cultivadas dentro de una pradera es conocer su producción de materia seca (Parga *et al.*, 2006). Esta información es importante porque permite conocer si la producción es eficiente, así como planificar su uso en función al consumo (Barreto, 2017).

La biomasa forrajera se estima mediante métodos directos e indirectos. El método directo convencional y base para el desarrollo de otros métodos es la estimación directa de corte y pesado, el cual es ampliamente utilizado en investigación para estimar la producción de materia seca de la pastura (Parga *et al.*, 2006). Sin embargo, al ganadero no le resulta práctico este método debido que la toma de muestra requiere de entrenamiento y el procesamiento demanda un tiempo considerable en función al área a muestrear. Además, se requiere un tiempo adicional, de aproximadamente 48 horas, para obtener el dato en MS (Scrivner *et al.*, 1986; Parga *et al.*, 2006; Pravia *et al.*, 2013).

A partir del método del corte y pesado se han desarrollado otros métodos como el método indirecto visual (Haydock y Shaw, 1975), métodos que usan dimensiones de volumen, conductividad eléctrica, resistencia del pasto al peso de una superficie (Harmony *et al.*, 1997), o

los más modernos que emplean imágenes satelitales espectrales (Théau *et al.*, 2021) y la reflectancia ultrasónica (Legg y Bradley, 2019).

En países como Nueva Zelanda, Chile y Colombia se viene utilizando el método indirecto del plato medidor de pastos logrando estimar la biomasa forrajera por hectárea en corto tiempo y en función de la resistencia de los pastos (Thomson *et al.*, 2001; Linares y Cardenas, 2013).

El presente trabajo de investigación propone recuperar, clasificar, analizar y presentar el conocimiento existente sobre los diferentes métodos de estimación de biomasa forrajera, con énfasis en el método de corte y pesado, y método de plato medidor de pasto EC 20, para la estimación en materia seca de pasturas asociadas, con la finalidad de evaluar como alternativa tecnológica, la potencialidad del método del plato medidor de pastos para su adaptación y uso en sistemas productivos pecuarios de la sierra central, que contribuya al uso eficiente del recurso forrajero y al costo beneficio.

La revisión de bibliografía evidencia que el método indirecto del plato medidor de pastos EC20 podría adaptarse para la medición de biomasa forrajera en la sierra central, no obstante, requiere de evaluaciones experimentales de ajuste para su posterior implementación como herramienta tecnológica de los sistemas productivos pecuarios de la zona y facilitar la gestión sostenible de los recursos forrajeros.

CAPÍTULO 2: EL PROBLEMA DE LA CARENCIA DE INFORMACIÓN SOBRE USO DE PASTOS EN LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN PECUARIO DE SIERRA

2.1 MOTIVACIÓN

Según el IV Censo Nacional Agropecuario del 2012, 31% del territorio nacional es de uso agropecuario, del cual 81.8% tiene menos de 5 hectáreas y se encuentran en condiciones de pobreza. A esto se suma que más del 90% de los productores no reciben asistencia técnica sobre producción y uso de pasturas en la alimentación del ganado (INEI, 2012); limitaciones que conllevan a que los índices productivos y económicos sean deficientes.

La revisión y análisis de información bibliográfica contribuiría a identificar una alternativa tecnológica para una gestión eficiente y sostenible, evaluando un método indirecto que permita a los productores del Valle del Mantaro estimar la producción de biomasa forrajera de pasturas asociadas de manera pragmática, rápida y de bajo costo; siendo la principal motivación para el presente Trabajo de Investigación.

2.2 ANTECEDENTES

La producción pecuaria en el valle del Mantaro varía en sus sistemas de alimentación, porque usan pastos cultivados principalmente, rastrojos de cultivos transitorios, subproductos de cosecha y muy pocos emplean algún tipo de concentrado, mayormente de preparación artesanal (Fernández-Baca y Bojórquez, 1994). Los tipos de pastos empleados también son variados, predominando el uso de alfalfa (*Medicago sativa*), rye grass italiano (*Lolium multiflorum*), trébol rojo (*Trifolium pratense*), rye grass inglés (*Lolium perenne*), trébol blanco (*Trifolium repens*) y asociaciones de estos. Usualmente, estos forrajes, en pastoreo o en corte, son usados con edades de rebrote mayores a 50 días, momento de mayor acumulación de biomasa (Laforé *et al.*, 1999; Cantaro, 2017), pero también de mayor acumulación de fibra cruda y menor digestibilidad (Church *et al.*, 2010).

Los sistemas empíricos realizan escasa medición de indicadores productivos, y el registro de datos es casi nulo (Cantaro, 2017). Algunas veces pueden hacer estimaciones subjetivas de algunos

indicadores de manejo alimentario, como el tiempo que tardaran sus animales en consumir un lote de pastura, pero no registran la información. En el caso de productos como la leche, se realiza la medición de la producción para la venta (Fernández-Baca y Bojórquez, 1994), pero tampoco se registra.

En un sistema de producción eficiente, es importante medir la producción de biomasa forrajera, porque permite contar con información para estimar la productividad, para esto, es importante cuantificar la producción de MS de la pastura por unidad de área y unidad de tiempo (Barreto, 2017; Cantaro, 2017). En el Valle del Mantaro, la biomasa forrajera de los pastos está influenciada por el clima, siendo el pico de producción entre enero y marzo, cuando la precipitación es mayor (Bojórquez *et al.*, 2015). Actualmente, los sistemas de producción pecuaria del Valle del Mantaro no cuentan con un método de medición de rendimiento de pasturas que sea pragmático, y no pueden conocer con objetividad sus parámetros de biomasa forrajera ni consumo de pastos de sus animales, así como tampoco otros indicadores. Esta situación, hace que el sistema productivo sea empírico, dificultoso para identificar problemas e inapropiado para evaluar alternativas de mejora (Mayer, 2008).

En la actualidad, varios sistemas productivos ganaderos de países como Nueva Zelanda, Australia, Chile y Colombia emplean el método del plato medidor de pastos para calcular la disponibilidad de biomasa forrajera de las praderas de manera práctica, sencilla y eficaz (Thomson *et al.*, 2011; Sanderson *et al.*, 2001); obteniendo información objetiva de sus sistemas de producción pecuaria para su posterior análisis y mejora. Sin embargo, la aplicación de este método en cualquier lugar requiere calibrar la ecuación de estimación a factores geográficos y climáticos, propios de cada zona (Parga *et al.*, 2006; Linares y Cárdenas, 2013; Pérez, 2017).

2.3 VACÍOS DE INFORMACIÓN

En Perú, las investigaciones en pastos aplican el método de corte y pesado, y algunas veces el método visual (Bojórquez *et al.*, 2015). Sin embargo, no hay reportes del uso del plato medidor de pastos por parte de los productores agropecuarios del valle del Mantaro.

Los productores agropecuarios del valle del Mantaro tienen limitaciones para una gestión óptima de sus sistemas productivos (Cantaro, 2017). Por ejemplo, en la gestión de pastos cultivados, pocos productores conocen y casi ninguno usa métodos de medición de biomasa forrajera, como el método del corte y pesado, el cual no es empleado por el productor porque requiere práctica, equipos especiales y el proceso toma mucho tiempo hasta la obtención de resultados (Parga *et al.*, 2006; López-Guerrero *et al.*, 2011).

En varios países ganaderos se han validado métodos indirectos, entre los que destaca el plato medidor de pastos, el cual es empleado por los ganaderos como herramienta que facilita la planificación y gestión eficiente en el uso de sus pastos, además es de fácil manejo, obtiene datos de manera rápida, precisa y a un bajo costo (Thomson *et al.*, 2001; Linares y Cardenas, 2013). Sin embargo, en Perú y en el Valle del Mantaro, el uso de métodos indirectos en la medición de biomasa forrajera, está poco difundido en las actividades de investigación y es prácticamente desconocido para los productores pecuarios. Por cuanto, la evaluación y validación del plato medidor de pastos es un tema de interés para los sistemas productivos que emplean pastos.

2.4 BASES TEÓRICAS

2.4.1 MATERIA SECA

La materia seca (MS) se compone de una parte orgánica e inorgánica. La parte orgánica está constituida por carbohidratos, lípidos, proteínas, ácidos nucleicos y vitaminas; y la inorgánica, por minerales (Church *et al.*, 2010). El contenido y la forma de los elementos orgánicos e inorgánicos determinan la calidad nutritiva de los forrajes (Escobar *et al.*, 2020).

La MS se obtiene a partir de una muestra de pasto en estado fresco, luego de un proceso de deshidratación. En la MS se concentran los nutrientes que utilizan los animales para cumplir con sus diversas funciones, tales como el mantenimiento, crecimiento, reproducción y la producción de leche, fibra o carne (Parga *et al.*, 2006; Insua *et al.*, 2019; Escobar *et al.*, 2020).

La producción de biomasa forrajera se puede determinar directamente una vez conocido el contenido de materia seca (Church *et al.*, 2010) obtenido en el área del cuadrante, luego aplicando una regla de tres simple se estima la cantidad de materia seca para todo el terreno con pastos, este dato corresponde a la biomasa forrajera del terreno con pastos, disponible para la alimentación del ganado. La estimación del consumo requiere repetir el procedimiento en el terreno luego del pastoreo para obtener la materia seca residual; y finalmente por diferencia se estima el consumo.

2.4.2 MÉTODOS PARA ESTIMAR EL RENDIMIENTO EN MATERIA SECA

Parga *et al.* (2006) señalan que la biomasa forrajera se puede estimar mediante métodos directos como corte y pesado, o indirectos como estimación visual, plato medidor de pastos, capacitancia eléctrica, entre otros.

El método de corte y pesado se practica en laboratorios especializados, su aplicación en el campo aún es limitada y laboriosa para sistemas productivos pecuarios; siendo indispensable evaluar métodos simples, rápidos y menos costosos (Scrivner *et al.*, 1986; Parga *et al.*, 2006).

Entre los métodos indirectos tenemos la estimación visual, la capacitancia electrónica y el plato medidor. La estimación visual puede resultar útil para algunas investigaciones, no obstante, es un método subjetivo, que necesita del entrenamiento constante del evaluador para mejorar la precisión de estimación de biomasa forrajera y el sesgo puede incrementar cuando la pastura es heterogénea (Haydock y Shaw, 1975).

El método de capacitancia eléctrica se basa en la conductividad eléctrica; variable asociada a la densidad del pasto, e influenciado por el nivel de humedad (Parga *et al.*, 2006).

El plato medidor de pastos estima la producción de biomasa forrajera en función a la resistencia que ofrece el pasto al peso del plato medidor (Sanderson *et al.*, 2001), factor asociado a la edad del pasto y rigidez de los tallos, determinado por la acumulación de lignina (Church *et al.*, 2010).

El método indirecto, Imagenología espectroscópica, es uno de los más modernos, se aplica en áreas grandes pero aún están en proceso de mejora (Théau *et al.*, 2021).

2.4.3 IMPORTANCIA DE LA DISPONIBILIDAD DE BIOMASA FORRAJERA

La estimación de biomasa forrajera y cantidad de residuo, a corto plazo, hacen posible predecir el consumo aparente (kg MS/ha o kg MS/día/animal) permitiendo asignar la cantidad de forraje a un número preciso de animales en pastoreo (Parga *et al.*, 2006), a su vez permite fijar la superficie de pradera por animal en un tiempo determinado, de tal manera que es posible evitar un sobrepastoreo o subpastoreo, en ese sentido es importante garantizar la altura mínima de rebrote para que no afecte la productividad ni perennidad de los pastos (Parga *et al.*, 2006; Nanning, 2012; Macam y Hunt, 2015).

La disponibilidad de materia seca de los pastos también permite determinar otros indicadores como tasa de desarrollo y tasa de senescencia del pasto, de este modo el productor podrá evaluar el funcionamiento de su sistema productivo y tomar decisiones orientadas al uso eficiente y sostenible de las pasturas (Parga *et al.*, 2006).

2.5 DEFINICIÓN DETALLADA DEL PROBLEMA

El 55% de la superficie agropecuaria en el Perú, están ubicadas en la Sierra (INEI, 2012), las mismas que tienen serias deficiencias en el registro de datos de sus sistemas productivos (Cantaro, 2017), así como limitación en la formación de capacidades y acceso a tecnología para realizar la gestión eficiente de sus sistemas productivos.

Los sistemas de producción pecuaria en el Valle del Mantaro tienen como fuente principal, efectiva y económica los pastos cultivados (Laforé *et al.*, 1999; Bojórquez *et al.*, 2015). El

pastoreo (cosecha del forraje tomada directamente por el animal para alimentarse) resulta ser la forma más barata y natural de producir alimentos de origen animal (INTA, 2010).

El costo de alimentación en los sistemas de producción pecuaria representa hasta el 70% del costo de producción (Alvarado, 2015), siendo los pastos los insumos más utilizados en los sistemas productivos pecuarios de la sierra, toda decisión que contribuya al uso eficiente de los mismos, tendrá repercusión positiva en la sostenibilidad del sistema productivo.

Para mejorar la rentabilidad de un sistema productivo pecuario que emplea pastos, es importante medir la productividad del sistema, pero, para medir la productividad se necesita cuantificar los recursos que ingresan al sistema productivo, así como los productos que obtienen (Mayorga, 2012). En ese sentido, cobra relevancia estimar la biomasa forrajera de los pastos.

Contribuir al desarrollo de métodos que resulten eficaces y prácticos para la cuantificación de la biomasa forrajera de pastos asociados será de beneficio para los productores pecuarios (Barreto, 2017). Asimismo, la recopilación de información y aplicación de tecnología en el sistema productivo será más eficiente y sostenible en el tiempo (Nikitina, 2021).

Casi la totalidad de los sistemas productivos pecuarios del valle del Mantaro no cuentan con un método de fácil aplicación en pastoreo, de bajo costo que contribuya a la estimación de sus parámetros de rendimiento y consumo de pastos; condición que los limita en la gestión eficiente de los recursos en sus sistemas productivos.

CAPÍTULO 3: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1 SISTEMAS PRODUCTIVOS PECUARIOS EN LA SIERRA DE PERÚ

Existen distintos sistemas de producción agropecuaria en la serranía de Perú, como el Valle del Mantaro, que tienen por recurso alimenticio para la producción animal a los pastos cultivados asociados, una mezcla de gramíneas con leguminosas que resultan ser una importante fuente de nutrientes, principalmente, para vacunos, ovinos y cuyes; que representan el sustento de comunidades campesinas, pequeños y medianos productores (Gillermo *et al.* 2015).

Muchos de los productores asumen que sus sistemas son sostenibles, sin embargo, es posible que muchos de estos no lo sean realmente (Barreto, 2017) lo que hace necesario alternar de forma eficiente la producción de cultivos y pastos (Cántaro, 2017).

La mayoría de los productores pecuarios del Valle del Mantaro no están en condiciones de realizar una estimación objetiva de la productividad del sistema y menos aún un balance económico, debido que, en ellos el desarrollo de capacidades y acceso a tecnologías es limitado, originando un escaso registro de información, y sin información no es posible estimar indicadores, se desconoce la realidad y no se puede implementar acciones de mejora (Wirén-Lehr, 2001). Solo un 20% de los productores registra información mínima (Cantaro, 2017), que no incluye datos sobre pastos (Laforé *et al.*, 1999). Estas condiciones influyen en un manejo deficiente de recursos forrajeros, que decaen en una baja rentabilidad del sistema productivo (Gillermo *et al.*, 2015; Parga *et al.*, 2006).

3.2 PASTOS CULTIVADOS EN LA ALIMENTACIÓN ANIMAL

En el valle del Mantaro prosperan bien los pastos de clima templado, siendo los pastos perennes de uso más frecuente la alfalfa (*Medicago sativa*), rye grass inglés (*Lolium perenne*), rye grass híbrido (*Lolium boucheanum*), trébol rojo (*Trifolium pratense*), trébol blanco (*Trifolium repens*), dactylis (*Dactylis glomerata*) y anual como rye grass italiano (*Lolium multiflorum*) (Cuadro 1). Los productores emplean estos pastos en monocultivos (*Medicago sativa*), en asociación gramínea-leguminosa, o en rotación con cultivos agrícolas. La producción de los pastos está

influenciada por el clima, suelo, estación, variedad, fertilización y edad, siendo este último es el más influyente en la calidad nutricional y uso sostenible del pasto, y el que mejor podría controlar el productor; pues está determinado que el mejor momento de uso es a inicio de la floración, usarlo antes deteriora al pasto y usarlo después reduce la digestibilidad del pasto (Bojórquez *et al.*, 2015; Ramírez, 2009).

Cuadro 1. Características de las principales especies de pastos cultivados en el Valle del Mantaro.

Familia	Especie	Características	Producción de biomasa
Poaceae o Gramíneas	Rye grass inglés (<i>Lolium perenne</i>)	Pasto perenne. Tolera climas extremos sobre todo a bajas temperaturas. Útil para el pastoreo. Variedades: Nui y Ruanui	18 a 20 t MS/ha/año.
	Rye grass italiano (<i>Lolium multiflorum</i>)	Pasto anual No soporta el estrés hídrico. Útil para pastoreo y corte. De fácil establecimiento. Variedad: Tama	16-18 t de MS/ha/año
	Dactylis (<i>Dactylis glomerata</i>)	Pasto perenne Tolera el estrés hídrico. Útil para el pastoreo en asociación con la alfalfa dormancia 9. Variedad: Potomac	12-14 t de MS/ha/año en asociación con el trébol rojo.
Fabaceae o Leguminosas	Alfalfa (<i>Medicago sativa</i>)	Forraje perenne Fija el nitrógeno por simbiosis. Posee hojas alternas trifoliadas Rústica, productiva y de calidad Útil para el pastoreo, corte y elaboración de heno. Sensible al pH ácido del suelo. Variedad: Superlechera	15.6 a 27 t MS/ha/año
	Trébol rojo (<i>Trifolium pratense</i>)	Forraje semi perenne Fija el nitrógeno por simbiosis. Se establece en asociación con el rye grass italiano. Variedad: Kendland, Hamua,	12-14 t de MS/ha/año en asociación con el <i>Dactylis glomerata</i> .

	Turoa, Pawera y Quiñequeli	
	Forraje perenne Fija el nitrógeno por simbiosis. Rastrera, de raíz casi superficial. Tolerante a heladas. El mayor rendimiento se produce al tercer año de cosecha. Variedad: Common y Huia	18-20 t de MS/ ha/año.
Trébol blanco (<i>Trifolium repens</i>)		

Fuente: Elaboración propia en base a Bojórquez *et al.* (2015), MINAGRI (2015), Durand (2014), Rojas (2017), Martínez y Leiva (2018).

3.3 MÉTODO DIRECTO

3.3.1 MÉTODO DE CORTE Y PESADO

Es un método convencional que consiste en tomar muestras representativas de las pasturas mediante el corte en un área conocida, delimitada por un marco. A partir de la materia seca que se obtienen en las muestras se estima la producción de biomasa forrajera por área. Este método tiene adaptaciones para cada situación en los que se definen la altura de corte y cantidad de muestras, siendo preferible el mayor número de muestras posibles durante el muestreo (Haydock y Shaw, 1975).

El método del corte y pesado tiene variantes de uso, sea por el número de muestras, tamaño del marco y altura de corte. Al respecto Moott y Moore (1985) proponen un estándar, al cual denominan método del metro cuadrado, el cual consiste en utilizar un cuadrante de 1 m², tomar 1 muestra por cada 100 m² de área y secar las muestras.

A partir del método del corte y pesado se han desarrollado otros métodos que permiten la estimación de la materia seca de los pastos; sin embargo, para los sistemas productivos pecuarios es importante contar con una herramienta que sea práctica, rápida, eficiente y que permita explotar al máximo el potencial productivo de los pastos (Thomson *et al.*, 2001).

El método de corte y pesado aún está vigente, pues se usa en estudios de investigación, su aplicación es limitada en sistemas productivos pecuarios pues no facilita estimar la biomasa forrajera, porque requiere de competencias técnicas para la toma de muestras y procesamiento, además de demandar mucho tiempo así como del uso de equipos como la estufa de aire forzado y balanza de precisión; necesarios para obtener resultados en 48 horas (Scrivner *et al.*, 1986; Parga *et al.*, 2006; Pravia *et al.*, 2013). Los productores carecen de estos implementos lo que dificulta la aplicación del método de corte y pesado en sus pasturas (Parga *et al.*, 2006; Lopez-Guerrero *et al.*, 2011).

El método directo de corte y pesado es destructivo y durante el muestreo se aplica en diferentes lugares del terreno, esta forma de manejo puede representar el deterioro de la pradera, en especial si no se considera la edad o altura mínima para el rebrote (López-Guerrero *et al.*, 2011).

Para evaluar la producción de biomasa forrajera, según el método de corte, primero se confecciona un marco cuadrado o rectangular (Figura 1), con dimensiones mayores o iguales a 0.25 x 0.25m (Parga *et al.* 2006), el cual se va lanzando en el terreno de manera aleatoria, siempre procurando que las muestras sean representativas de toda la pastura (Parga *et al.* 2006). En ese sentido, se recomienda obtener un gran número de muestras o realizar un muestreo estratificado, cuando la pastura muestra desuniformidad. Posteriormente, las muestras de cada marco son pesadas y almacenadas en bolsas de polietileno, se registran todos los datos necesarios (fecha, lote, número de la muestra, peso del forraje) y son llevadas al laboratorio para realizar el procedimiento de determinación de la materia seca (Parga *et al.*, 2006; Flores *et al.*, 2013).

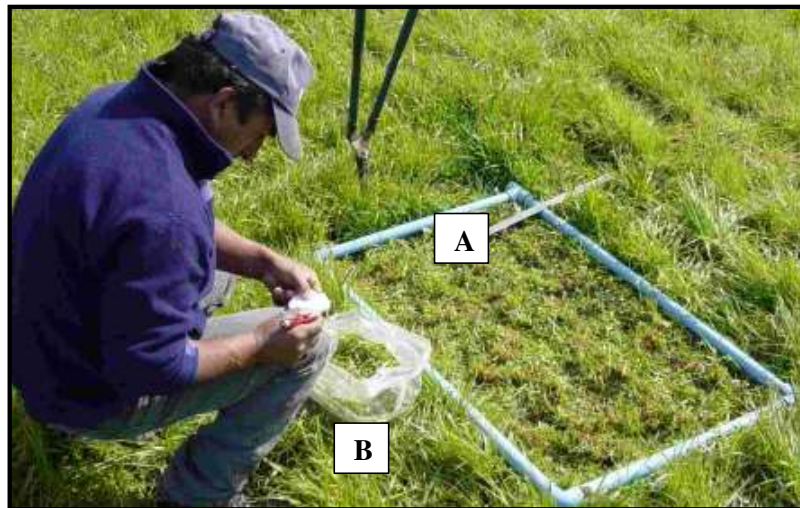


Figura 1. Método de corte. Medición del rendimiento del forraje mediante un marco rectangular a base de tubos PVC (A) y una bolsa (B) para almacenar las muestras. Adaptado de Parga *et al.* (2006).

A. ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA FORRAJERA

Previo a la estimación, se debe asegurar el retiro de humedad del recipiente a emplear, colocando el envase en una estufa, a 60°C, durante 20 minutos, luego enfriarlo en un desecador y finalmente “tarar” en la balanza (AOAC, 1990).

Procesamiento de la muestra

1. Tomar de manera aleatoria 100 a 200g de la muestra, pesar en la balanza y registrar el “peso inicial” (AOAC, 1990; Parga et al., 2006).
2. Cortar la muestra, con tijera, trozos de 3 cm. de largo y homogenizarla (Parga et al., 2006).
3. Colocar la muestra en el recipiente y dejarla en la estufa de aire forzado, a 60°C durante 48h. En este periodo de tiempo, la muestra va perdiendo humedad (AOAC, 1990; Pravia et al., 2013).
4. Enfriar la muestra en el desecador pesar en la balanza y registrar el “peso final” (AOAC, 1990).

Parga *et al.* (2006) señala que el proceso de secado se puede realizar mediante horno microondas con una potencia de 850 watts o más, durante 5 minutos; asimismo, se debe contar con la presencia de un vaso con 150ml de agua fría dentro del equipo con la finalidad de evitar la combustión de la muestra y proteger el equipo. Luego, se retira el envase, se pesa y anota. Este proceso se debe repetir cada 3 minutos hasta que la muestra registre un peso constante.

Determinación de la biomasa forrajera

1. El %MS determina cuánto de materia seca posee una pastura y se obtiene mediante la relación entre el “peso final” con el “peso inicial” de la muestra (Parga *et al.* 2006; Escobar *et al.*, 2020).

$$\%MS = \frac{\text{Peso final del forraje deshidratado}}{\text{Peso inicial del forraje fresco (100 - 200g)}} \times 100$$

2. La producción de biomasa forrajera se obtiene con el peso promedio de las muestras por hectárea sobre el área del marco de 0.5m² (Parga *et al.* 2006).

$$\text{Forraje verde} = \frac{\text{Peso promedio de las muestras (kg)} \times 10\,000\,m^2}{\text{Área del marco } m^2}$$

3. Obtenido el %MS y el rendimiento de forraje verde, es posible estimar la disponibilidad total del terreno de una hectárea, mediante la siguiente formula:

$$\text{Disponibilidad total} = \frac{\text{Forraje verde} \times \%MS}{100}$$

B. FACTORES QUE ALTERAN LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA FORRAJERA

La producción de biomasa forrajera está sujeto al estado fenológico de los pastos, la condición ambiental y su procesamiento (Parga *et al.*, 2006; Escobar *et al.*, 2020).

B.1. ESTADO FENOLÓGICO DE LAS PASTURAS

La fenología estudia los factores bióticos y abióticos que afectan el ciclo de vida de las plantas (Cobos y Narvaez, 2018), que sin duda tienen influencia sobre la producción de biomasa forrajeras en los pastos.

B.1.1 ESTADO VEGETATIVO

La unidad básica de las gramíneas, es el macollo debido que otorga la propiedad de perennidad, cada macollo está conformado por hojas, tallo y raíces (Parga *et al.*, 2006). La lámina, lígula, aurícula y vaina de las hojas de las gramíneas, permiten reconocer el estado vegetativo (Parga *et al.*, 2006); en el caso de *Lolium multiflorum*, presenta dos aurículas largas, la vaina envuelve el tallo y la lígula claramente visible (Rojas, 2017).

Otra característica morfológica de las gramíneas en estado vegetativo son las raíces adventicias o nodales que afloran de los nudos ubicados en la base del tallo pequeño (Parga *et al.*, 2006).

El estado óptimo de una gramínea para el corte es cuando aparecen las 3 primeras hojas por macollo, cada hoja tiende a desarrollarse en 35 días en verano y en invierno, entre 56 a 70 días (Parga *et al.*, 2006).

En un estudio realizado en Cartago, indica que la edad óptima de cosecha de *Phalaris arundinacea* es cerca a los 70 días; se observó que, a esta edad fenológica, esta gramínea presenta una mayor humedad y por consiguiente un menor porcentaje de MS (Cuadro 2) (Villalobos, 2012).

Cuadro 2. Producción de biomasa de *Phalaris arundinacea* con 3 edades de cosecha en Cartago.

Edad (días)	Humedad (%)	Materia seca (%)
49	82.12	17.88
70	83.32	16.68
91	82.98	17.02
Promedio ¹	82.8	17.2

¹Valores corresponden al promedio de 48 muestras
Fuente: Villalobos (2012)

En algunas gramíneas como el *Lolium multiflorum*, al momento del crecimiento, producen inflorescencia en espiga dística, dando inicio a la etapa reproductiva (Parga *et al.*, 2006; Cobos y Narvaez, 2018), por lo que es aconsejable aprovechar las bondades del corto ciclo vegetativo del *Lolium multiflorum* (Rojas, 2017).

En el caso de las leguminosas, su estado vegetativo se caracteriza por la presencia de dos cotiledones donde emergerá la primera hoja unifoliada, y el tallo primario. Los estolones se originan a partir de las yemas axilares de la hoja primaria (Parga *et al.*, 2006).

B.1.2 ESTADO REPRODUCTIVO

El estado reproductivo de las leguminosas se caracteriza por la presencia de flores que se incrementan en número con la exposición a más horas-luz (Parga *et al.*, 2006), como el *Trifolium repens* por la formación de flores blanco-rosadas (Rojas, 2017). En comparación con las gramíneas, la producción continua de hojas y flores no se inhibe por el estado reproductivo (Parga *et al.*, 2006).

La lignina es el segundo compuesto orgánico más abundante en las plantas y tiene por función el soporte mecánico, transporte de agua y protección contra plagas y microorganismos (Moura *et al.*, 2010). La lignina está relacionada con la edad fenológica de las pasturas, cuando las gramíneas comienzan a espigar, aumenta la lignificación incrementando la proporción de pared celular como en el caso de la gramínea *Phalaris arundinacea* (Cuadro 3) (Villalobos, 2012).

Cuadro 3. Contenido de los principales componentes de la pared celular del pasto alpiste con sus edades fenológicas.

Edad de cosecha (días)	Edad Fenológica (número de hojas verdes/rebrote)	Lignina (%)	Hemicelulosa (%)	Celulosa (%)
49	5.8278	3.78	18.79	31.04
70	6.0725	4.26	20.91	32.59
91	5.9775	4.42	20.16	32.34
Promedio ¹	5.9638	4.14	20.01	32.01

¹Valores corresponden al promedio de 48 muestras.

Fuente: Villalobos (2012)

Los pastos con mayor estado fenológico logran mayores porcentajes de materia seca, pero disminuye la cantidad de agua por el acúmulo de lignina; originando una reducción del consumo en los rumiantes, a consecuencia de una menor digestibilidad y velocidad de pasaje del pasto en el tracto digestivo (Parga *et al.*, 2006; Church *et al.*, 2010). La rigidez de los tallos es directamente proporcional al acúmulo de lignina, que a su vez se correlaciona con la edad (Moura *et al.*, 2010). Esta característica es tomada en cuenta por el método del plato medidor de pastos, pues de esa rigidez depende la resistencia que ofrezca el pasto al peso del plato.

B.2 CONDICIONES CLIMÁTICAS

La precipitación pluvial está sujeta a la producción de pasturas, Nanning (2012) indica que logró rendimiento de tan solo 8.234 kg MS/ha/año en Chile en pasturas compuestas por *Lolium perenne* y *Trifolium repens*, debido al estrés hídrico.

En el Valle del Mantaro se presentan dos épocas definidas: la época lluviosa, de octubre a marzo, y la época seca, que va desde abril a septiembre (Bojórquez *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2008), entonces, la biomasa forrajera esta favorecida por las precipitaciones, provocando un mayor rendimiento en la época lluviosa, equivalente a 2.1 veces la producción de la época seca (Bojórquez *et al.*, 2015), y la precipitación pluvial repercute también en la altura, como en las alfalfas que crecen hasta 1.50 m en época lluviosa y 0.10 m en época de sequía (Rojas, 2017).

3.4 MÉTODOS INDIRECTOS

En países como Nueva Zelanda, donde la ganadería está más desarrollada, se emplean métodos indirectos; equipos de alta precisión y menos destructivos que el método de corte y pesado, con la intención de ser asequibles al productor y facilitar la estimación de indicadores productivos de la pastura (Parga *et al.*, 2006).

3. 4. 1 MÉTODO VISUAL

Consiste en la estimación visual de la biomasa forrajera presente en un área determinada; sin embargo, el estimador requiere un previo entrenamiento de capacitación con la finalidad de estimar correctamente (Parga *et al.*, 2006). La estimación se hace más difícil en pos pastoreo (Li *et al.*, 1998).

El método visual determina el rendimiento de la biomasa en una escala de categorías que usualmente va de uno a cinco, siendo la categoría uno correspondiente a la cantidad más baja y la categoría cinco a la más alta. Luego se aplica el método del corte y pesado para obtener el rendimiento de la biomasa de cada categoría, posteriormente, siguiendo una trayectoria en forma de “z” a lo largo del terreno, realiza el lanzamiento del cuadrante y califica a la pastura que queda en el interior del cuadrante, de acuerdo a la escala inicialmente definida (Haydock y Shaw, 1975). Este método reduce el muestreo destructivo, pero, necesita un buen entrenamiento visual y está sujeto a la subjetividad de los evaluadores.

Si bien este método es rápido y no emplea un equipo especial, tiene como desventaja el tiempo de preparación para que la persona desarrolle la habilidad de estimar la biomasa forrajera visualmente (Parga *et al.*, 2006). Además los estimadores deben estar frescos ya que en jornadas laborales largas tienden a sobreestimar la biomasa forrajera (Johnson *et al.*, 1986).

3. 4. 2 CAPACITANCIA ELECTRÓNICA

Es un método práctico que emplea un capacitómetro eléctrico (“Gras master”) que mide la conductividad eléctrica que ejerce este instrumento sobre las pasturas, en función de su densidad; a partir de esa información se realiza la estimación de la biomasa forrajera (Parga *et al.*, 2006). Los equipos suelen poseer una capacidad para almacenar información de 200 potreros y hasta 250 lecturas por potrero (López-Guerrero *et al.*, 2011).

El capacitómetro eléctrico emite una frecuencia eléctrica que genera un campo eléctrico alrededor del tubo de aluminio, cada lectura abarca un diámetro de 100mm y hasta 400mm de altura (Figura 2) (Sanderson *et al.*, 2001; Parga *et al.*, 2006).

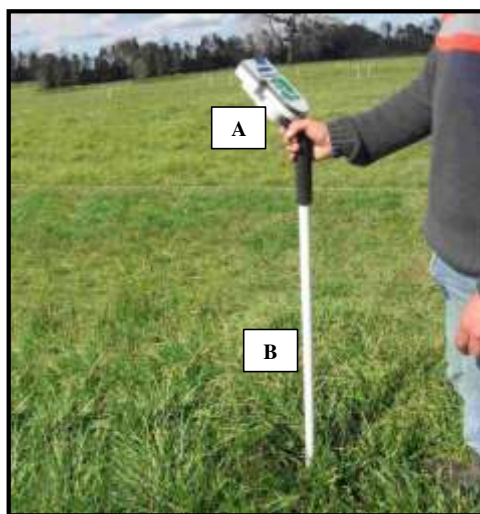


Figura 2. El capacitómetro “Grass Master”. El microprocesador (A) y el bastón de aluminio (B) del capacitómetro. Adaptado de Parga *et al.* (2006).

La lectura corregida de medición (CMR) debe ser modificada debido a que la humedad ambiental influye con una pequeña cantidad de energía, por lo que es necesario realizar una lectura en el aire y la diferencia de ésta con las pasturas es el resultado final (Parga *et al.*, 2006); razón que limita su uso en zonas húmedas o cuando existen excesivos forrajes senescentes (Gebauer, 2004; Parga *et al.*, 2006; Hepp *et al.*, 2017).

3. 4. 3 PLATO MEDIDOR DE PASTOS

El plato medidor de pastos es un método muy versátil y confiable que posee diferentes versiones y es una herramienta básica y tecnológica que puede ser una buena opción para controlar y aumentar la eficiencia en la utilización de las pasturas (Parga *et al.*, 2006). La medición rápida, de bajo costo y precisa de la producción de biomasa, es uno de los criterios técnicos importantes para mejorar la productividad de la pradera (Scrivner *et al.*, 1986) y el método del plato medidor de pastos tiene estas características. Sin embargo, similar a lo que pasa con otros métodos

indirectos, el plato medidor de pastos tiende a sobreestimar la biomasa de la pastura (López-Guerrero *et al.*, 2011), sesgo que puede controlarse con una buena calibración.

A. TIPOS DE PLATO MEDIDOR DE PASTOS

A.1 PLATO MEDIDOR DESCENDENTE

Método indirecto no destructivo que estima la biomasa forrajera en función de la resistencia de la vegetación forrajera mediante una placa cuadrangular acrílica con un agujero central donde atraviesa un tubo con marcas de calibración. Esta placa cuadrangular está sujeta mediante 4 lazos que permitan el descenso suave hasta la parte superior de las pasturas (Rayburn y Lozier, 2003a; (Li *et al.*, 1998).

Se debe obtener la altura promedio y luego estimar la densidad de la pastura. Esta densidad es de característica subjetiva pudiendo clasificarse en: densidad baja, media o alta. La densidad baja está integrada por pastos jóvenes por la baja cantidad de hojas y poca presencia de macollo; la densidad media, por diferentes especies forrajeras y la alta densidad, por la alta densidad de macollos (Rayburn y Lozier, 2003b).

A.2 PLATO MEDIDOR ASCENDENTE

El plato medidor de pastos ascendente consta de un disco de aluminio con un eje tubular plástico por donde se desliza una vara de aluminio y permite el ascenso del plato. Este tipo de plato medidor registra la altura a la que queda el plato, determinado por la repulsión que provoca el disco de aluminio al contactar con los pastos; a partir de esa altura se genera la estimación de la biomasa forrajera (Sanderson *et al.*, 2001), en correspondencia con la densidad que puedan presentar los pastos asociados (Figura 3) (Lile *et al.*, 1998; Parga *et al.*, 2006). La densidad del pasto varía según la cobertura, altura y estado fenológico de la pradera. A mayor densidad, mayor será la resistencia de las pasturas al peso del disco, por lo que la correlación de la altura de los pastos y su disponibilidad de materia seca será más precisa cuando los pastos se encuentran en estado vegetativo y no lignificados (Parga *et al.*, 2006).

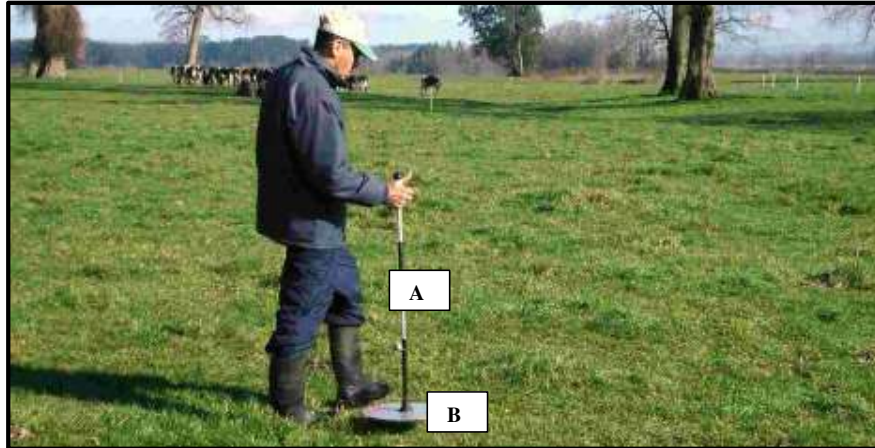


Figura 3. Plato medidor de pastos. El Plato medidor de pastos con su eje ranurado (A), su disco circular de aluminio (B) que permite medir la disponibilidad de forraje de la pradera. Adaptado de Parga *et al.* (2006).

El plato medidor de pastos permite contar con un gran número de muestras que abarca la totalidad del potrero sometido a pastoreo, permitiendo identificar de manera adecuada, la variabilidad de la pradera. Generalmente se puede realizar hasta 100 mediciones en cinco minutos, que son tomadas de manera aleatoria (Scrivner *et al.*, 1986); sin embargo, según Parga *et al.* (2006) debe evitarse tomar la muestra en zonas húmedas, alrededor de los árboles, zonas cercanas a la entrada del potrero o en zonas de descanso ya que podrían alterar los resultados.

El plato medidor de pastos EC20 es un moderno equipo, cuenta con sistema bluetooth y sistema operativo Android, que se puede instalar en celular o Tablet. Las lecturas de rendimiento de cada medición, realizada por el plato medidor, así como los datos de altura se pueden visualizar desde el aplicativo de forma inmediata, pudiendo procesar desde ahí con la información recibida (Jenquip, 2021).

B. DETERMINACIÓN DE LA ECUACIÓN PARA ESTIMAR LA MATERIA SECA

Con este método se debe efectuar una adecuada calibración para obtener ecuaciones de regresión o modelos de predicción adaptados a cada situación, si se emplean las ecuaciones estándar obtenidas en países donde se desarrolló esta herramienta, podría dar resultados inexactos (Sanderson *et al.*, 2001); dado que, la producción de las pasturas está influenciada por varios factores que modifican sus características físicas. La ecuación de predicción debe ajustarse a las

condiciones climatológicas y edáficas, propias del Valle del Mantaro, que determinan el crecimiento, reproducción y maduración de las especies forrajeras (Bojórquez, 1998).

Si bien los métodos indirectos no son destructivos, a diferencia del método de corte y pesado (Scrivner *et al.* 1986), el proceso de calibración del plato medidor de pastos requiere contrastar el rendimiento real mediante el método de corte y pesado, correspondiente al área del plato, con la lectura del instrumento (Parga *et al.*, 2006; Linares y Cardenas, 2013), a fin de establecer la propia ecuación de calibración del instrumento en el lugar donde se ejecutará la medición, a partir de la correlación, mediante una ecuación lineal simple ($y=a+bx$) (Parga *et al.*, 2006; López *et al.*, 2011).

Según Parga *et al.* (2006) y Pérez (2017) los pasos para determinar el rendimiento de biomasa son:

- a. Registrar la lectura inicial del contador de altura, ubicada en la parte inferior del bastón (X1) antes de comenzar las mediciones con el plato, esto sirve para obtener la diferencia al final de todo el proceso de muestreo.
- b. Colocar el plato medidor de pastos en ángulo de 90° con el suelo. Presionar el bastón hasta escuchar un “clic”.
- c. Se recomienda realizar las mediciones en forma de “zigzag” o “W” y de manera aleatoria, sin predilección por zonas más productivas (Figura 4) (Gebauer, 2004).
- d. Luego se procede a cortar las pasturas asociadas correspondiente al área del plato.
- e. Registrar el número total de muestras y la lectura final del contador de altura (X2) indicado por el instrumento, y calcular la altura comprimida promedio para dicha zona (X).

El valor de “X” de la ecuación será de la siguiente manera:

$$X = \frac{X2 - X1}{n}$$

Según Di Renzo *et al.* (2005) para determinar el rendimiento de los pastos expresado en kg MS/ha mediante la variable “Y”, una variable dependiente, se debe tener en cuenta la influencia de la variable “X” y los parámetros del modelo (a y b). Parga *et al.* (2006) señala que para estimar la biomasa forrajera, se aplica la ecuación según la estación del año en el que se realizan las mediciones. Como ejemplo se tiene la ecuación lineal para la primavera en Temuco, donde X es la altura comprimida promedio.

$$Y=85X+362$$

Si bien las mediciones de la masa forrajera con el plato medidor de pastos se calibran mediante regresión lineal simple; Dillard *et al.* (2016) señala que una regresión curva con la X intercepto igual a cero, puede proporcionar una calibración más precisa disminuyendo la variabilidad en las mediciones del medidor de placa ascendente.



Figura 4. Estimación de la biomasa forrajera en forma de “zig-zag” y de manera aleatoria. Parga *et al.* (2006).

3.4.4 IMAGENOLÓGÍA ESPECTROSCÓPICA

Recientes estudios emplean imágenes multiespectrales, que mide la reflectividad de las diferentes ondas espectrales, cuyos valores se usan en la construcción de índices, sobre los cuales se basan las estimaciones, no obstante, la precisión de sus resultados aún requiere mejoras (Paredes, 2018).

Se considera una herramienta tecnológica ecoamigable en beneficio de la perdurabilidad del ecosistema (Théau *et al.*, 2021). Vehículos aéreos no tripulados (UAV), equipados con esta tecnología han sido empleados para estimar diferentes parámetros como rendimiento, biomasa forrajera, altura del pasto, composición nutricional y soporte hídrico (Insua *et al.*, 2019; Zarco-Tejada *et al.*, 2012).

En el trabajo de investigación de Insua *et al.* (2019) se emplearon datos climatológicos y la gestión del predio con la finalidad de predecir el rebrote de las pasturas bajo el modelo Enfoque de Sistemas para la Sostenibilidad del Uso de Tierras; asimismo, bajo el modelo morfogenético y digestibilidad de los pastos (MDP) se utilizó para predecir el aporte nutricional y morfogénesis foliar de festuca alta y rye grass, demostrando la viabilidad de esta herramienta; sin embargo, requiere estudios más exactos para predecir la cantidad y calidad de forraje (Théau *et al.*, 2021).

La comparación resumida entre los diferentes métodos de medición de rendimiento de materia seca en pastos se muestra en el Cuadro 4, donde se destacan las ventajas y desventajas de cada método.

Cuadro 4. Ventajas y desventajas de los métodos de estimación de rendimiento de pastos.

MÉTODO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
De corte	Precisión del rendimiento de pastos	Método destructivo e impráctico por su complejidad en la determinación del rendimiento. Representa una muestra de la población de rendimiento de pasturas dentro de una pradera.
Estimación Visual	Medición rápida No requiere de equipo especial.	Desarrollo de la habilidad del estimador para determinar la disponibilidad de pasturas en un área determinada. Comparar los resultados con un método directo.
Capacitancia eléctrica	Método rápido, no destructivo que emplea la densidad de la	No se puede ejecutar en zonas con exceso de humedad o

	pradera para estimar el rendimiento de pasturas.	material muerto.
Plato medidor de pastos	Práctico, no destructivo. Uso de la altura de pasturas para estimar el rendimiento de pastos	Calibración precisa según el área a analizar.
Imagenología espectroscópica	Método más eco-amigable, práctico y viable. Se aplica a áreas más grandes.	El procedimiento debe ser más mecanizado y el mapeo de datos deben estar disponibles a tiempo real.

Fuente: Elaboración propia en base a Scrivner *et al.* (1986); Parga *et al.* (2006); Lopez *et al.* (2011); Hepp *et al.* (2017) y Insua *et al.* (2019).

3.5 ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE BIOMASA

Existen diversos estudios que comparan el método de corte y pesado con el método del plato medidor de pastos. Al respecto, en América del Sur, Linares y Cárdenas (2013) evaluaron la efectividad del plato medidor de pastos para estimar el rendimiento de materia seca en praderas mixtas de *Lolium perenne* con *Pennisetum clandestinum* en el municipio de Cota, Colombia. En ese estudio se tuvo que calibrar la ecuación lineal resultando en lo siguiente: $\text{kg MS/ha} = 79.7051 * (\text{altura comprimida en cm}) + 319.663$, demostrándose la factibilidad de aplicar este método indirecto, con una precisión de $R^2 = 95,3\%$, que denota el alto grado de asociación entre la altura comprimida (cm) y kg MS/ha. Linares y Cárdenas (2013) sostienen que la calibración de esta ecuación lineal es debido a las condiciones climatológicas y manejo de pastoreo de la zona son diferentes a las condiciones de Nueva Zelanda.

Linares y Cárdenas (2013) asociaron el efecto de las variables climáticas temperatura y precipitación sobre el rendimiento de MS disponible en la pradera, mediante una regresión lineal múltiple ($\text{kg MS/ha} = 249,581 + 79,6726 * \text{Altura comprimida en cm} - 0,0783266 * \text{Precipitación (mm)} + 4,59347 * \text{Temperatura (}^\circ\text{C)}$), en donde la precipitación resultó ser inversamente proporcional al contenido de MS disminuyendo en 0,0783266 Kg MS/ha, esto es debido al bajo nivel de humedad en la pared celular de las plantas, y la temperatura es directamente proporcional al contenido de MS, aumentando en 4,59347 Kg MS/ha, por el incremento de los niveles de celulosa y lignina.

En Chile por medio del Proyecto FIA Pastoreo, se buscaba adaptar el plato medidor de pastos a las condiciones edáficas y climáticas del sur de Chile, para ello, inicialmente realizaron muestreos en Temuco, Valdivia y Osorno según la estación del año (primavera, verano, otoño e invierno) a una misma altura con respecto a las praderas que se manejan en Nueva Zelanda (Cuadro 5). Esto demostró que, si no se calibra adecuadamente la ecuación para las zonas de Chile, la disponibilidad de materia seca (kg/ha) será sobreestimada.

Cuadro 5. Disponibilidad de MS (kg/ha) con el plato medidor a una altura promedio de 12cm, en praderas permanentes de Chile y Nueva Zelanda según la época del año.

ÉPOCA	kg/ha de MS			
	TEMUCO	VALDIVIA	OSORNO	NUEVA ZELANDA
Primavera	2.402	2.684	2.490	3.875
Verano	3.564	4.473	3.663	5.440
Otoño	3.170	2.908	3.812	4.738
Invierno	2.900	2.586	3.402	3.640

Fuente: Ministerio de Agricultura del Gobierno de Chile (2009).

En el Cuadro 6 se muestran las ecuaciones generales obtenidas según la época del año. La pendiente en la ecuación de calibración de invierno es menor debido a una menor resistencia al peso del plato producto de la relación hoja: tallo y el estado vegetativo de las pasturas; esto provoca una reducción de la pendiente de la curva de calibración y menos forraje disponible a igual altura. A diferencia de la pendiente en verano, esta es mayor debido a la cantidad de tallos y el estado reproductivo de las pasturas que incrementa el contenido de materia seca y fibra (Ministerio de Agricultura del Gobierno de Chile, 2009).

Cuadro 6. Disponibilidad de materia seca a diferentes alturas comprimidas según la estación del año en Temuco, Valdivia y Osorno en Chile mediante el uso del plato medidor de pastos.

Altura comp.	TEMUCO				VALDIVIA				OSORNO			
	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
	$85x+362$	$156x+180$	$139x+166$	$119x+44$	$85x+363$	$180x+153$	$103x+430$	$83x+594$	$95x+2107$	$129x+567$	$152x+164$	$133x+210$
4	702	444	390	520	804	873	848	926	590	1.083	772	742
6	872	756	668	758	992	1.233	1.054	1.092	780	1.341	1.076	1.008
8	1.042	1.068	946	996	1.180	1.593	1.260	1.258	970	1.599	1.380	1.274
10	1.212	1.380	1.224	1.234	1.368	1.953	1.466	1.424	1.160	1.857	1.684	1.540
12	1.382	1.692	1.502	1.472	1.556	2.313	1.672	1.590	1.350	2.115	1.988	1.806

14	1.552	2.004	1.780	1.710	1.744	2.673	1.878	1.756	1.540	2.373	2.292	2.072
16	1.722	2.316	2.058	1.948	1.932	3.033	2.084	1.922	1.730	2.631	2.596	2.338
18	1.892	2.628	2.336	2.186	2.120	3.393	2.290	2.088	1.920	2.889	2.900	2.604
20	2.062	2.940	2.614	2.424	2.308	3.753	2.496	2.254	2.110	3.147	3.204	2.870
22	2.232	3.252	2.892	2.662	2.496	4.113	2.702	2.420	2.300	3.405	3.508	3.136
24	2.402	3.564	3.170	2.900	2.684	4.473	2.908	2.586	2.490	3.663	3.812	3.402
26	2.572	3.876	3.448	3.138	2.872	4.833	3.114	2.752	2.680	3.921	4.116	3.668
28	2.742	4.188	3.726	3.376	3.060	5.193	3.320	2.918	2.870	4.179	4.420	3.934

Fuente: Ministerio de Agricultura del Gobierno de Chile (2009)

De otro lado, Pérez (2017) obtuvo otra ecuación ($\text{kg MS/ha} = 179 * X + 19$) (Cuadro 7) para la calibración del plato medidor de pasturas en 2 predios destinados a la producción lechera en la provincia de Pichincha-Ecuador, teniendo como punto de comparación al método de corte y pesado. Las pasturas predominantes en el área de estudio fueron raigrás (*Lolium perenne*) y trébol rojo (*Trifolium pratense*). Con la finalidad de evaluar la relación entre la cantidad de MS obtenidas con el plato medidor de pastos en base a la altura comprimida (cm) y el método de corte y pesado, Pérez (2017) empleó la prueba de Correlación Simple de Pearson dando como resultado un coeficiente de correlación de 0.82, lo cual indica que el método del plato medidor de pasturas presenta un alto grado de veracidad (Figura 5).

Cuadro 7. Valores obtenidos de la regresión lineal simple para calibrar el plato medidor de pasturas en Ecuador.

	Valores obtenidos
n	1000
Pendiente	178,98
Intercepto	19,261
Coefficiente de correlación (R²)	0,8205

Fuente: Pérez (2017)

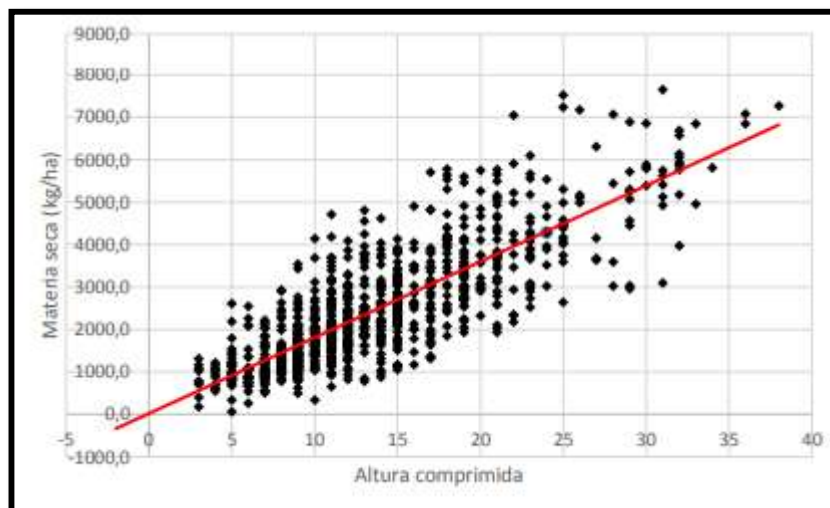


Figura 5. Representación gráfica de la ecuación lineal simple entre la altura comprimida obtenida con el plato medidor de pastos y la materia seca obtenida del método de corte y pesado. Pérez (2017).

El objetivo del estudio de Harms et al. (1997) era determinar la biomasa de pasturas variables (rodales de leguminosas, gramíneas-leguminosas y mezclas) de las granjas de investigación de la Universidad Estatal de Ciencia y Tecnología de Iowa en Estados Unidos, mediante el uso métodos indirectos, entre uno de ellos, el plato medidor de pasturas, y considerando como base al método de corte y pesado. El coeficiente de determinación (R^2) para el plato medidor de pasturas fue alto en festuca alta ($r^2=0.85$), alfalfa ($r^2=0.84$) y trébol rojo ($r^2=0.73$), lo cual implica una mayor precisión de estimación de MS en estas especies. En conclusión, ante una amplia gama de pastos, cualquier método indirecto, en especial el plato medidor de pastos, puede determinar la biomasa de los pastos si se toma en cuenta la variabilidad de los pastos, y se emplea doble muestreo como monitoreo de las calibraciones.

En el estudio de López-Guerrero et al. (2011), comparan el método de corte con tres métodos indirectos: el método de capacitancia (MC), el método de plato medidor (PM) y la estimación visual (EV) en seis potreros del Centro de Investigación y extensión Agrícola del Valle de Shenandoah en Estados Unidos, donde la pastura predominante fue festuca alta, durante el periodo 2002-2003. El análisis de varianza detectó un efecto significativo de la fecha de muestreo debido a que las condiciones climatológicas del año 2003 influenciaron en las pasturas, teniendo como resultado 2,001 kg MS/ha más que lo obtenido en el 2002; sin embargo, no hubo diferencias con

respecto al método de muestreo y su interacción debido a que sus coeficientes de determinación (R^2) fueron aceptables (Cuadro 8). López-Guerrero *et al.* (2011) explican que los R^2 del 8 de octubre del 2002 del plato medidor (PM), estimación visual (EV) y capacitancia electrónica (MC) (PM=0.600, EV=0.795 y MC=0.491), fueron bajos debido al clima seco dado en ese año, concluyendo que debemos ser cautelosos al seleccionar un método indirecto porque si no podría sobreestimar la biomasa forrajera (Cuadro 8).

Cuadro 8. Ecuaciones de calibración de la masa forrajera de tres métodos indirectos: capacitancia electrónica, el plato medidor de pastos y la estimación visual.

	Regresión***			R^2 adj ^b	Biomasa ^c kg ha ⁻¹	RSD ^d , kg ha ⁻¹
	b_0	b_1	EE(b_1) ^a			
Capacitancia electrónica, kg ha⁻¹						
2002	-511.4	1.483	0.125	0.54	2256	1137
2003	66.9	1.605	0.960	0.700	4219	1509
Plato medidor, cm						
2002	-466.302	248.779	14.155	0.721	2256	885
2003	-691.871	305.961	17.395	0.721	4219	1456
Estimación visual, kg ha⁻¹						
2002	127.415	1.714	0.075	0.814	2256	723
2003	-5.506	1.816	0.071	0.844	4219	1087

***Todas las regresiones fueron significativas ($p < 0.01$)

a Error estándar del coeficiente de regresión

b Coeficiente de determinación ajustado (b_1)

c Estimación de la materia seca en cuadros de corte

d Derivación residual estándar, $n=120$

Fuente: López-Guerrero *et al.* (2011).

Pravia *et al.* (2013) calibró el plato medidor de pastos para los distintos tipos de pasturas que poseen los productores del proyecto GIPROCAR II en Uruguay. Para la determinación de MS obtenidas por el método de corte, las muestras fueron procesadas en el laboratorio de pasturas de la sede de INIA. La ecuación general denota una asociación entre la altura del plato medidor con el valor obtenido por el método de corte y pesado (kg MS/ha), es: $y=113,9X+149,89$; sin embargo esta ecuación no refleja el efecto del tipo de tipo de pastura o estación del año.

Pravia *et al.* (2013) planteó un modelo de ecuación para los tipos de pasturas estacionales, estas se encuentran constituidas por pasturas permanentes (PP=1345 muestras), verdes de invierno (VI=95 muestras) y verdes de verano (VV=49 muestras), obteniendo diferentes ecuaciones con

sus coeficientes de regresión (R^2). Para las pasturas permanentes (PP), verdes de invierno (VI) y verdes de verano (VV) el R^2 fueron 0.614, 0.638 y 0.812, respectivamente.

Cuadro 9. Ecuaciones de calibración para los distintos tipos de pasturas en Uruguay.

TIPOS DE PASTURAS	ECUACIÓN GENERAL
Permanentes (PP)	$Y=113.9x\text{Avg}+149.89$
Verdeos de invierno (VI)	$Y=100.35x\text{Avg}+132.00$
Verdeos de verano (VV)	$Y=99.98x\text{Avg}-670.73$

Y= kg de MS de la pastura (kg MS/ha)
 Avg: Lectura del Plato medidor de pastos
 Fuente: Pravia *et al.* (2013)

Sin embargo, Pravia *et al.* (2013) plantea otro modelo que demuestre el efecto de la especie de pasturas sobre la cantidad de MS, para ello presenta la distribución de las combinaciones de pasturas estudiadas durante el proceso de muestreo donde la mayoría lo conforma los campos naturales mejorados (CN mejorado= 542 muestras), luego festuca (130 muestras), alfalfa+gramínea (79 muestras), entre otros. Este modelo se refleja en la siguiente ecuación para el tipo de pastura alfalfa+gramínea: $\text{Alf}+\text{gram}= 71.66 X + 456.84$ (Cuadro 10).

Cuadro 10. Estimaciones de parámetros Bo y B1 según el tipo de pasturas permanentes.

Pastura	Parámetros		
	n	Bo	B1
Promedio		256.16	106.93
Alf+gram	79	456.84	71.66
CNm	542	70.47	129.51
C yTR	101	345.42	96.19
Cylo	4	569.99	108.28
Fes	130	87.14	118.72
Fest+TB	47	645.5	80.42
Fest+TR	70	170.99	131.91
Fest+lo	76	81.29	129.83
Pdeg	99	-246.16	145.96
Rg+TB	6	647.56	92.06
Rg+TR	70	525.09	64.36
TR	20	-179.14	122.08

Leyenda: Alf+gram: alfalfa+gramíneas; Av: avena, Ceb: cebada, CNm: campo natural mejorado, CyTR, c..Trébol rojo, Cylotus: c y Lotus, Fes: festuca, Fest_TR: festuca+trébol rojo, Fest_lo: festuca+louts, Fest_TB: festuca+trébol blanco, Pdeg:praderas degradadas, Rg: raigrás, Rg_TR,,: raigrás + trébol rojo, Rg_TB,,: raigrás+Trébol blanco, TR,,: trébol rojo, Tr_lo,,: trébol rojo_lotus.
 Fuente: Pravia *et al.* (2013)

Como conclusión, Pravia *et al.* (2013) sostiene que cualquier ecuación para estimar el rendimiento de pasturas puede ser ajustado a las condiciones particulares de la zona de estudio.

El medidor de pastos Ellibank (EPM) es un instrumento similar al Plato medidor de pastos, pero automatizado que se empleó para calcular la materia seca de pastos conformados en un 80% de rye grass inglés (*Lolium perenne*) y el resto de trébol blanco (*Trifolium repens*) con más de cuatro semanas de no ser pastoreada obteniendo una ecuación general: $Y = 762 + 155H$ con coeficiente de determinación (R^2) de 0.967 (Earle y McGowan, 1979). Earle y McGowan (1979) señalan que el EPM es más preciso que la Capacitancia electrónica debido a que no sufre descalibraciones por la batería o el factor humedad, y es más precisa que método visual ya que no requiere dobles muestreos o un mayor entrenamiento y desgaste mental por parte del operario; sin embargo, indica que no es recomendable usarla donde existe una alta variabilidad en la composición dentro de la pradera ya que requiere de más mediciones para precisar el rendimiento.

3.6 USO DEL PLATO MEDIDOR EN PRODUCTORES

Dada la información del presente trabajo de investigación, se puede considerar que el método del plato medidor es una herramienta útil para para estimar el rendimiento de los pastos e importante para la gestión eficiente de los mismos por el ganadero. El dispositivo es accesible, se puede compartir entre varios usuarios de una zona en particular, es práctico y rápido en la estimación de materia seca de pasturas asociadas y puede aplicarse en el Valle del Mantaro; sin embargo, debemos tener en cuenta que la producción de pastos está influenciada por las épocas del año factores asociados como precipitación, temperatura, suelo, entre otros (Thomson *et al.*, 2001; Cho *et al.*, 2019), siendo necesario una adecuada calibración del equipo para el logro de resultados de mayor precisión.

El método del plato medidor de pastos es usado en ganaderos de Nueva Zelanda y varias notas periodísticas mencionan la difusión y uso de este método en productores de países de Colombia (Contexto Ganadero, 2014; Sitio Web Notiagro, 2014) en base a estudios desarrollados por

Linares y Cardenas (2013) de la Universidad de la Salle, tienen por finalidad que el ganadero conozca la cantidad de nutrientes que ofrece a sus animales y de ese modo aumentar la productividad y calidad de su sistema productivo. En Ecuador, mediante el Proyecto de Ganadería Sostenible del Ministerio de Agricultura y Ganadería (2021), los ganaderos de la provincia de Tungurahua estiman la disponibilidad de materia seca de sus forrajes mediante el uso del Plato Medidor de Pasturas, de ese modo determinan la carga animal precisa para evitar el sobrepastoreo (Figura 6).



Figura 6. Ganadera de la provincia de Tungurahua que emplea el Plato Medidor en sus pasturas. MAGAP (2021)

En países como Uruguay, el uso del plato medidor de pastos está apoyado por INIA de su Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (Pravia *et al.*, 2013).

CAPÍTULO 4: PERSPECTIVAS TECNOLÓGICAS EN LA MEDICIÓN DE BIOMASA DE PASTOS

4.1 ALCANCE Y LIMITACIONES EN EL USO DEL PLATO MEDIDOR

El clima del Valle del Mantaro es subhúmedo, debido que posee una época de estiaje y una época lluviosa con una precipitación promedio anual es de 731.2 mm; y microtérnico, debido a que la temperatura promedio oscila entre los -0.3 y 6.5°C a 18,5 y 20.8°C (Guillermo, 2015; Silva y Trasmonte, 2012; Rojas, 2017); todas estas condiciones serán determinantes para el proceso de fotosíntesis y procesos enzimáticos que requieran las plantas, los que a su vez determinarán la disponibilidad de materia seca (Bojórquez *et al.*, 2015). Estos factores deben ser considerados al momento de calibrar la ecuación para el uso del plato medidor de pastos, porque influyen en la densidad de pasturas (Gebauer, 2004; Parga *et al.*, 2006; Pérez, 2017) o la velocidad con que logran el estado reproductivo ciertas especies forrajeras (Parga *et al.*, 2006). Una densidad baja de pasturas provoca una lectura menor en comparación de una densidad promedio (Macam y Hunt, 2015) y la densidad está influenciada por la cantidad de semilla por unidad de área y otros factores relacionados con la perennidad de la pastura (Parga *et al.*, 2006). Por cuanto, es factible que el plato medidor de pastos pueda emplearse en la zona agroecológica baja del valle del Mantaro (Bojórquez *et al.*, 2015) debido a que en ella se encuentran las mayores áreas, pero, será importante la evaluación de los posibles factores de variación para un adecuado ajuste de las ecuaciones de regresión. En ese sentido, la participación de algunos grupos de investigación de la UNMSM, con actividad en la Estación IVITA El Mantaro, que ya cuenta con un plato medidor de pastos, será valiosa en el proceso de evaluación y validación del método del plato medidor de pastos en sistemas productivos del valle del Mantaro.

4.2 PERSPECTIVAS EN LA APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA LA GESTIÓN EFICIENTE DE PASTOS

Además del desarrollo tecnológico, que brinda un importante soporte a los sistemas productivos pecuarios, se considera elemental realizar una labor diagnóstica que permita conocer a

profundidad las razones que limitan la implementación de ciertas tecnologías en los productores (Wirén-Lehr, 2001). Muchas de las tecnologías generadas no llegan a ser adoptadas o adaptadas por los productores, si es que no dan resultados estupendos y en corto plazo, y parte de la explicación a esas razones se podrán obtener con el análisis diagnóstico, a fin de tenerlos en cuenta en el proceso de transferencia tecnológica.

De otro lado, los sistemas de producción animal suelen tener problemas complejos, que llegan a involucrar a toda una comunidad y territorio, situación que amerita plantear soluciones integrales, por tal razón, se considera importante contar con la participación de los productores desde la identificación del problema y en la co-creación de propuestas o alternativas de solución, su evaluación y validación (Trías de Bes y Kotler, 2011).

El método del plato medidor de pastos, a diferencia de los otros métodos, tiene mayores posibilidades de ser aceptado por los productores para la realizar la medición del rendimiento de pastos. No obstante, el planteamiento de solución al problema de la deficiente gestión del uso de pastos es mejor proponerlo como un plan de gestión sostenible de pastos, elaborado por los productores, con la asistencia técnica de especialistas de la Estación IVITA EL Mantaro, donde el proceso de medición será una de las herramientas a ser usadas en el plan. De esta manera, tendremos una propuesta de solución integral y participativa, con mayor probabilidad de contribuir a la solución de los problemas de los productores pecuarios del valle del Mantaro.

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES

- Los productores pecuarios del valle del Mantaro tienen una deficiente gestión de sus pastos o recursos forrajeros, debido al limitado desarrollo de capacidades y al pobre acceso a tecnologías y asistencia técnica.
- El método directo de corte es el más preciso en la estimación de rendimiento de materia seca en pastos, sin embargo, es el más destructivo. Es principalmente empleado en estudios de investigación y son pocos los productores que lo emplean debido a los implementos y tiempo, entre otros, que se requiere para su uso.
- Entre los variados métodos indirectos, el del plato medidor de pastos requiere una adecuada calibración para mejorar su precisión, sin embargo, permite mayor número de muestras, es versátil, de fácil uso, rápido y práctico.
- La deficiente gestión de recursos forrajeros de los productores pecuarios del valle del Mantaro, necesita de formación de capacidades, diseño y planificación de forma participativa, así como un plan de gestión de recursos forrajeros con asistencia de especialistas. Este Trabajo de Investigación sustenta la alternativa de estimación de rendimiento de pasturas con el plato medidor EC-20, presentando información que facilite la toma de decisiones para implementar su uso.

LITERATURA CITADA

1. Alvarado IC. 2015. Estructura de costos para los pequeños productores de la irrigación San Felipe. Tesis de Ingeniero Zootecnista. Lima: Univ. Nac. Agraria La Molina. 49 p.
2. Alzamora C, Espinoza J, San Martín F, Coronado L. 2001. Diagnóstico situacional de la problemática sanitaria y reproductiva de la producción pecuaria en la sierra de la provincia de Huaral. *Rev Inv Vet Perú* 12: 29-33p.
3. AOAC. 1990. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Vol1. 15 th ed. Washington DC: AOAC. 1298p.
4. Barreto JF. 2017. Caracterización y sostenibilidad de los sistemas agropecuarios tradicionales de Carhuaz, Ancash, Perú. Tesis de Doctor en Agricultura Sustentable. Lima: Univ. Nacional Agraria La Molina. 86 p.
5. Bojórquez C. 1998. Producción de pastos cultivados en tres zonas agroecológicas de la sierra central. *Rev Invest. Pecuarios* 9(1): 12p.
6. Bojórquez CL, Rojas JD, Ordóñez JH. 2015. Pastos cultivados en el valle del Mantaro. Lima: Fondo Editorial UNMSM. 147 p.
7. Cantaro JL. 2017. Caracterización de los sistemas de producción ganadera de los distritos Nueve de Julio (Junín) y Tintay Puncu (Huancavelica) en la sierra central. Tesis de Ingeniero Zootecnista. Lima: Univ. Nac. Agraria La Molina. 111 p.
8. Cho W, Brorsen BW, Biermacher JT, Rogers JK. 2019. Rising Plate Meter Calibrations for Forage Mass of Wheat and Rye. *Agric. Environment Letters* 4(1):1–4.
9. Church DC, Pond WG, POnd KR. 2010. Fundamentos de Nutrición y Alimentación de Animales. 2da ed. México: Limusa Wiley. 635 p.
10. Contexto Ganadero. 2014. El plato que le permite saber el mejor momento de sus forrajes. [Internet], [27 de julio del 2021]. Disponible en: <https://www.contextoganadero.com/reportaje/el-plato-que-le-permite-saber-el-mejor-momento-de-sus-forrajes>

11. Cobos E, Narvaez V. 2018. Fenología y producción de rye grass (*Lolium multiflorum*) bajo sistema de labranza convencional y alternativa en la granja de Irquis. Título de Ingeniera Agrónoma. Cuenca: Univ. De Cuenca. 143p.
12. Di Renzo JA, Casanoves F, Tablada EM, Gonzalez LA, Diaz M, Robledo C, Balzarini MG. 2005. Estadística para las Ciencias Agropecuarias. 6ta edición. Córdoba: Brujas. 347 p.
13. Dillard SL, Hafla AN, Rubano MD, Stout RC, Brito AF, Soder KJ. 2016. Evaluation of a Rising Plate Meter for Use in Multispecies Swards. *Agriculture Environment Letters* 1(1):1-4.
14. Durand D. 2014. Comportamiento productivo de alfalfa (*Medicago sativa L.*) en cultivo puro y asociado con gramíneas forrajeras en el CIP-Camacani. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Puno: Universidad Nacional Del Altiplano. 90p.
15. Earle DF, McGowan AA. 1979. Evaluation and calibration of an automated rising plate meter for estimating dry matter yield of pasture. *Aust J Exp Agric.* 19(98):337-343.
16. Escobar P, Etcheverría T, Vial A, Daza C. 2020. Concepto de materia seca y su uso: guía práctica. [INIA]. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín Informativo Nro 119. 3p.
17. Fernández-Baca E, Bojorquez C. 1994. Diagnóstico de la producción lechera en el Valle del Mantaro. 1. Recursos disponibles para la producción. *Rev. Investigaciones Pecuarias* 7(1):45-43.
18. Flores G, Díaz N, Díaz D, Valladares J, Pereira-Crespo S, Fernández- Lorenzo B, Resch C, Rodríguez-Diz X, Piñeiro J. 2013. Evaluación de cultivares de raigrás italiano e híbrido como cultivo de invierno para ensilar en primavera. *Revista Pastos* 43(1): 20-34.
19. Gebauer O. 2004. Evaluación de los métodos de altura comprimida y capacitancia electrónica para estimar la disponibilidad de forraje en praderas en pastoreo. Tesis de Licenciado en Agronomía. Valdivia: Universidad Austral de Chile. 116p.

20. Gillermo Z, Raul N, Yeny Y. 2015. Antecedentes generales de la ganadería en el valle del Mantaro. Manejo riesgos Desastre ante eventos meteorológicos Extremos en el Valle del Mantaro Antecedentes. Vol. 2:166–179 p.
21. Harmoney KR, Moore KJ, George JR, Brummer EC, Russell JR, 1997. Determination of pasture biomass using four indirect methods. *Agron. J.* 89: 665-672.
22. Haydock, K. P., N. H. Shaw, 1975. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husbandry* 15: 663-670.
23. Hepp C, Reyes C, Soto R. 2017. Uso del capacitómetro en praderas a pastoreo en la región de Aysén. Chile: INIA. Ficha Técnica. 2p.
24. Huamán C, Dávalos R, San Martín F, Bojórquez C, Carcelén F y Pérez A. 2000. Compensación al menor tiempo de pastoreo con diferentes niveles de heno de alfalfa en engorde de ovinos. *Rev. Inv Vet Perú* 11(2):1-5.
25. 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(3): 1-21.
26. Instituto Nacional de Estadística e Informática. 2012. IV Censo Nacional Agropecuario. Sistema de consulta de resultados censales. Cuadros estadísticos. [Internet], [16 de marzo de 2020]. Disponible en: <http://censos.inei.gob.pe/cenagro/tabulados/>
27. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 2010. Sistemas confinados vs sistemas pastoriles. Ventajas y desventajas. Argentina: INTA Sistemas de producción. Proyecto lechero. Resultados de investigación lechera. Ficha Técnica N.º 8. 4 p.
28. Jenquip. 2021. EC20 Bluetooth Electronic Platometer. Nueva Zelanda. [Internet], [2 de abril 2021]. Disponible en: <https://jenquip20app.co.nz>
29. Johnson PS., Hatton T.J., West N.E. 1986. Consistency of the reference unit method of plant biomass sampling as affected by long field hours and fatigue. Abstract, 39th Ann". Meeting, Sot. Range Manage, Kissimec, Fla.

30. Laforé M, San Martín F, Bojórquez C, Arbaiza T, Carcelén F. 1999. Diagnóstico alimenticio y composición químico nutricional de los principales insumos de uso pecuario del valle del Mantaro. *Rev Inv Vet Perú* 10(2): 74-78.
31. Legg M, Bradley S. 2019. Ultrasonic Proximal Sensing of Pasture Biomass. *Remote Sensing*. 11(20): 1-20.
32. Li G, Helyar K, Castleman L, Norton G, Fisher R. 1998. The implementation and limitations of using a falling plate meter to estimate pasture yield. *Proceedings of the 9th Australian Agronomy Conference, Wagga wagga*. 322-325p
33. Lile JA, Blackwell MB, Thomson NA, Penno JW, Macdonald KA, Nicholas PK, Lancaster JAS, Coulter M. 1998. Practical use of the rising plate meter (RPM) on New Zealand dairy farms. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association* 63 (2):159–164.
34. Linares C, Cárdenas J. 2013. Calibración del Rising Plate Meter para estimar la disponibilidad de materia seca en praderas mixtas *Lolium perenne* – *Pennisetum clandestinum* en el municipio de Cota, Cundimarca. Tesis de Zootecnista. Bogotá: Univ De La Salle. 99p.
35. López-Guerrero I, Fontenot JP, García-Peniche TB. 2011. Comparaciones entre cuatro métodos de estimación de biomasa en praderas de festuca alta *Comparison of four biomass estimation methods in Tall Fescue*. *Methods* 2(2):209–220.
36. Macam JW, Hunt SR. 2015. Using a Rising Plate Meter to Determine Paddock Size for Rotational Grazing. *Utah State University*. 6p.
37. Martínez BA, Leiva MM. 2018. Estudio comparativo de la producción de forraje y calidad nutricional de variedades de cultivo de alfalfa (*Medicago sativa*) en la sierra central. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Pasco: Univ. Nac. Daniel Alcides Carrión. 77 p.
38. Mayer, A. 2008. Strengths and weaknesses of common sustainability indices for multidimensional systems. *Environment International* 34 (2): 277- 291.

39. Mayorga JZ. 2012. Medición de la productividad de las fincas productoras de leche del municipio de Ubate, Cundinamarca y su impacto en el uso de los recursos de uso común RUC. En XVII Congreso Internacional de Contaduría, Administración e Informática. México. Asociación Nacional de Facultades y Escuelas de Contaduría y Administración.
40. Mott G, Moore J. 1985. Evaluating forage production. In: Forages the science of grassland agriculture. 4ta ed. Iowa: M.E. Heath. p 422-429.
41. Ministerio de Agricultura y Riego. 2015. Pastos Naturales. Perú: MINAGRI. [Internet], [6 de junio 2021]. Disponible en: <https://www.minagri.gob.pe/portal/40-sector-agrario/situacion-de-las-actividades-de-crianza-y-produccion/306-pastos-naturales?start=10>
42. Ministerio de Agricultura del Gobierno de Chile. 2009. Resultado y Lecciones en Mejores prácticas de pastoreo en el sur de Chile. Proyecto de Innovación en regiones de la Araucanía, de los Ríos y de Los Lagos. 40p.
43. Moura J, Bonine C.M.S, de Oliveira F, Dornelas M.C, Mazzafera P. 2010. Abiotic and biotic stresses and changes in the lignin content and composition in plants. *Journal of Integrative Plant Biology*. 52(4): 360-376.
44. Nanning Mogno ME. 2012. Producción, utilización y calidad de una pradera de *Lolium perenne l.* y *Trifolium repens l.* sujeta a diferentes criterios de frecuencia e intensidad de pastoreo. Tesis de Magister en Ciencias. Valdivia: Univ. Austral de Chile. 49 p.
45. Nikitina MA. 2021. Application of Digital Technologies in the Development of a Ration for Feeding Productive Animals. En: IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci 666(5): 1-7.
46. Paredes ME. 2018. Uso de índices de vegetación del sensor modis – terra en la estimación de biomasa aérea de pajonales altoandinos. Tesis de Ingeniero Zootecnista. Lima: Univ. Nac. Agraria La Molina. 87 p.
47. Parga J, Teuber N, Balocchi O, Anwandter V, Canseco C, Abarzúa A, Demanet R, Lopetegui J. 2006. Manejo del pastoreo. 129 p.

48. Pérez Argoti MD. 2017. Comparación del método del plato medidor de altura comprimida y el método del cuadrante para la determinación del rendimiento de materia seca en praderas sobre los tres mil metros de altitud. Tesis de Médico Veterinario Zootecnista. Quito: Univ. Central del Ecuador. 73p.
49. Pravia MI, Montossi F, Gutiérrez D, Ayala W, Andregnette B, Ivernizzi G, Porcile V. 2013. Capítulo III: Estimación de la disponibilidad de pasturas y forrajes en predios de GIPROCAR II: ajuste del “rising plate meter” para las condiciones de Uruguay. En: Montossi F. Ed. Invernada de Precisión: Pasturas, Calidad de Carne, Genética, Gestión empresarial e Impacto Ambiental (GIPROCAR II). Serie Técnica N° 211. Montevideo. INIA. 188 p.
50. Ramírez RG. 2009. Nutrición de rumiantes. Sistemas extensivos. 2da ed. México: Trillas. 314 p.
51. Rayburn E, Lozier D. 2003a. A falling plate meter for estimating pasture forage mass. Fact Sheet. West Virginia: Univ. Ext. Serv. 3p.
52. Rayburn E, Lozier D. 2003b. Estimating pasture forage mass from pasture height. Fact Sheet. West Virginia: Univ. Ext. Serv. 2p.
53. Rojas D. 2017. La arveja como cultivo temporal para el establecimiento de una pasture de gramíneas y leguminosas. Tesis de Magister Scientiae en Agricultura sustentable. Lima: Univ. Nac. Agraria La Molina. 68p.
54. Sanderson MA, Rotz CA, Fultz SW, Rayburn EB. 2001. Estimating forage mass with a commercial capacitance meter, rising plate meter and pasture ruler. *Agron J.* 93(6):1281–1286.
55. Scrivner JH, Center DM, Jones MB. 1986. A Rising Plate Meter for Estimating Production and Utilization. *Journal of Range Management* 39(5):475-477.
56. Silva, Y., Takahashi, K., Chávez, R. 2008. Dry and wet rainy seasons in the Mantaro river basin (Central Peruvian Andes). *Advances in Geosciences* 14: 261-264.

57. Silva Y, Trasmonte G. 2012. Climatología de lluvias y temperaturas. En: IGP, eds. Eventos meteorológicos extremos (Sequias, heladas y lluvias intensas) en el Valle del Mantaro. 1ª ed. Lima: Lettera Gráfica SAC. p 51-56.
58. Sitio Web Notiagro. 2014. El Plato Medidor de Praderas: Para evaluar la nutrición de los forrajes. [Internet], [27 de julio del 2012]. Disponible en: <https://www.agromundo.co/blog/el-plato-medidor-de-praderas-para-evaluar-la-nutricion-de-los-forrajes/>
59. Sitio Web Portal Agrario. 2021. Ecuador: Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP). [Internet], [27 julio 2021]. Disponible en: www.agricultura.gob.ec/
60. Théau J, Lauzier-Hudon É, Aubé L, Devillers N. 2021. Estimation of forage biomass and vegetation cover in grasslands using UAV imagery. PLOS ONE 16(1): 1-18.
61. Thomson NA, Upsdell MP, Hooper R, Henderson H V, Blackwell MB, Mccallum DA, Hainsworth RJ, Macdonald KA, Wildermoth DD, Bishop-Hurley GJ. 2001. Development and evaluation of a standardised means for estimating herbage mass of dairy pastures using the rising plate meter. J New Zeal Grasslands 63:149–157.
62. Torero R. 2002. Engorde de ovinos bajo pastoreo de mezcla rye grass y trébol, sola o con suplementación de concentrado. Tesis de Médico Veterinario. Lima: Univ. Nac. Mayor de San Marcos. 44 p.
63. Trías de Bes F, Kotler P. 2011. Innovar para ganar. El modelo A-F. 1ra ed. Barcelona: Ediciones Urano. 349 p.
64. Villalobos L. 2012. Fenología, producción y valor nutritivo del pasto alpiste (*Phalaris arundinacea*) en la zona alta lechera de Costa Rica. Agronomía Costarricense 36 (1): 25-37.
65. Wirén-Lehr S. 2001. Sustainability in agriculture- And evaluation of principal goal oriented concepts to close the gap between theory and practice. Agriculture, Ecosystems and Environment 84: 115-129.

66. Zarco-Tejada PJ, González-Dugo V, Berni JAJ. 2012. Fluorescence, temperature and narrow-band indices acquired from a UAV platform for water stress detection using a micro-hyperspectral imager and a thermal camera. *Remote Sens. Environment* 117: 322–337.