



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

“VALIDACIÓN DE SENSORES HOBO PARA EVALUAR EL TIEMPO
EFECTIVO DE PASTOREO Y TIEMPO DE RUMIA EN VACAS
LECHERAS”

TESIS

PRESENTA:

GUSTAVO LICONA VELÁZQUEZ

ASESORES

Dr. ERNESTO MORALES ALMARAZ

Dr. ADOLFO ARMANDO RAYAS AMOR

Dr. en C. JOSÉ LUIS BÓRQUEZ GASTELUM

REVISORES:

Dr. en C. IGNACIO ARTURO DOMÍNGUEZ VARA

Dr. en C. JUAN EDREI SÁNCHEZ TORRES



TOLUCA, MÉXICO; SEPTIEMBRE DE 2017

DEDICATORIA

A mis padres, por ser los pilares que forjaron mi vida, que con su amor, paciencia, apoyo incondicional, su confianza en mí y su ejemplo, me impulsaron toda la vida a seguir adelante, buscar superarme, cumplir mis objetivos.

A mis hermanos y hermanas, Vania, Miguel, Aarón y Vanesa, que siempre estuvieron al pendiente de mí, que apoyaron todas mis decisiones, que con sus palabras y consejos me ayudaron a pasare esta etapa tan importante de mi vida.

A mi tía Teresa y mi abuela Estela, quienes siempre estuvieron al pendiente de mí y brindaron su apoyo.

A mis amigos y amigas, que se volvieron parte de mi familia, con quienes compartí buenos y malos momentos, pero siempre me brindaron su apoyo y cariño.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma del Estado de México en especial a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, por brindarme la oportunidad de realizar y concluir mis estudios profesionales.

A la posta Zootécnica de la FMVZ, por proporcionarnos todo el apoyo para llevar a cabo en sus instalaciones la realización de este trabajo.

A los integrantes del equipo de trabajo del cual forme parte, Dr. Rodolfo Alberto, M en C. Luis Uribe, Mvz. Guillermo Robles.

A mis Asesores de Tesis, Dr. Adolfo Armando Rayas Amor, Dr. Ernesto Morales Almaraz y Dr. Jose Luis Borquez Gastelum por su paciencia, compartir sus conocimientos y darme la oportunidad de realizar este trabajo con ellos.

CONTENIDO

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Inclusión del pastoreo en la dieta de los bovinos lecheros	3
2.1.1. Producción intensiva en pastoreo.....	3
2.1.2. Producción semi-intensiva	3
2.1.3. Otros sistemas de producción.....	4
2.1.3.1. Sistema familiar	4
2.1.3.2. Lechería de doble propósito.....	4
2.2. El consumo voluntario en rumiantes	5
2.3. Métodos de estimación de consumo de pasto en vacas en pastoreo	6
2.4. Factores que influyen en el consumo de pasto en vacas en pastoreo	7
2.4.1. Factores relacionados a la planta.....	7
2.4.2. Factores relacionados al animal	9
2.4.3. Factores relacionados al medio ambiente y manejo	10
2.4.4. Tasa de sustitución y asignación de pasto.....	11
2.5. Comportamiento ingestivo de las vacas en pastoreo	12
2.5.1. Actividad de rumia.....	13
2.6. Métodos para medir el comportamiento de vacas en pastoreo	15
2.6.1. Observación directa	15
2.6.2. Sensores electrónicos	15
2.6.3. Dispositivos de posicionamiento.....	17
III. JUSTIFICACIÓN.....	18
IV. HIPÓTESIS	19

V. OBJETIVOS	20
Objetivo general.....	20
Objetivos específicos.....	20
VI. LÍMITE DE ESPACIO	21
VII. LÍMITE DE TIEMPO.....	22
VIII. MATERIAL	23
Material de campo:.....	23
Equipo:	23
Biológicos:	23
Laboratorio:	23
IX. MÉTODO	24
9.1. Animales y dieta.....	24
9.2. Desarrollo experimental.....	25
9.2.1. Periodos experimentales.....	25
9.2.2. Sistema de pastoreo	26
9.2.3. Calibración y colocación de los sensores HOBO.....	27
9.2.4. Periodos de observación directa del tiempo de pastoreo y tiempo de rumia	29
9.3. Variables evaluadas.....	31
9.3.1. Método de registro para evaluar el TEP.....	31
9.3.2. Métodos de registro para evaluar TR.....	31
9.4. Análisis estadístico	32
X. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
XI. CONCLUSIONES.....	42
XII. LITERATURA CITADA.....	43
XIII. ANEXOS.....	55

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Ingredientes (g/kg MS) y composición química (calculado) de las dietas.....	25
Cuadro 2. Altura del pasto (cm) mediante plato ascendente, materia seca disponible pre-pastoreo y post-pastoreo (kg MS/0.5 m ²).....	33
Cuadro 3. Correlación de Pearson entre altura de pastoreo, tiempo de pastoreo y tiempo de rumia.....	33
Cuadro 4. Parámetros de los modelos de regresión lineal entre observaciones directas y datos de los sensores HOBO ($n=63$) del tiempo de pastoreo y tiempo de rumia por vaca/día.....	35
Cuadro 5. Parámetros del modelo de la línea de regresión cuando los valores medios de los datos de los sensores se utilizan como predictores para el tiempo de pastoreo y rumia.....	38

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Factores que influyen en el consumo de alimento del animal.....	5
Figura 2. Eventos de manejo en el ganado lechero que limitan el consumo de alimento y en consecuencia la producción de leche.....	6
Figura 3. Localización de área de estudio	21
Figura 4. Cuadrante para la recolección de la biomasa disponible...	26
Figura 5. Colocación y fijación del sensor adyacente a la mandíbula de la vaca.....	28
Figura 6. Sensor HOBO para el registro de movimientos de animales en pastoreo.....	28
Figura 7. Registro de actividades de las vacas por observación directa.....	30
Figura 8a. Gráfico de Bland-Altman para evaluar la precisión de los sensores HOBO cuando se utilizó el eje X o eje Z para estimar el tiempo de pastoreo y rumia con respecto a las observaciones visuales.....	36
Figura 8b. Gráfico de Bland-Altman para evaluar la precisión de los sensores HOBO cuando se utilizó el eje-X y Y ó eje-Z y Y para estimar el tiempo de pastoreo y rumia con respecto a las observaciones visuales.	37
Figura 9. Relación entre las observaciones visuales del tiempo de pastoreo y las lecturas de los registradores de datos. Línea negra sólida: $X = Y$; Círculos: estimaciones del tiempo de pastoreo y rumiantes con respecto a observaciones visuales.....	40

I. INTRODUCCIÓN

La leche de bovino es considerada uno de los alimentos más completos, debido a su contenido de nutrientes, considerándose a nivel mundial como un alimento ideal y necesario dentro de la dieta de los humanos, por esta razón es que la ganadería bovina en nuestro país sea considerada como prioridad dentro de los programas de fomento que tienen por objeto incentivar su producción (Gallardo *et al.*, 2004).

En México los factores principales que en el presente han impedido el éxito en el desarrollo de la producción lechera, es el manejo de la alimentación, reproducción, baja genética de los animales e inadecuados programas sanitarios para el control de enfermedades. Por lo que es necesario introducir nuevas técnicas y sistemas de manejo en la explotación lechera, para obtener una mejor producción (Ortiz *et al.*, 2005). Tomando en cuenta uno de los factores importantes en la producción de la leche bovina como lo es la alimentación; Peyraud y Delagarde (2013) informan que el pastoreo es la fuente de alimentación con nutrientes disponibles más barata aparte de ser un componente fundamental en la dieta de los sistemas lecheros del mundo.

Por esta razón, tenemos que asegurar que sea máximo el aprovechamiento de las praderas como parte de la dieta, y un factor importante a medir es el comportamiento ingestivo de los animales durante el pastoreo. De acuerdo con Moreau *et al.* (2009), los estudios de la conducta de pastoreo pueden mejorar la comprensión de cómo los animales aprovechan la vegetación que se ofrece y pueden lograr una mejor gestión para mejorar su rendimiento, como la reproducción y la lactancia.

Existen muchas técnicas para medir el comportamiento ingestivo de los animales en pastoreo, como pueden ser: La observación directa, el rendimiento fecal, la utilización de marcadores, la diferencia de pesos antes y después de entrar a la pradera, la desaparición del forraje, técnicas utilizadas en numerosos trabajos de

investigación y en recientes años la utilización de aparatos electrónicos. La utilización de dichos dispositivos facilitan estudios de comportamiento en condiciones donde la observación directa es difícil (Langbein *et al.*, 1996; Scheibe *et al.*, 1998); también puede ofrecer un sistema para el monitoreo de los cambios en el comportamiento del pastoreo y que podrían ser utilizados para documentar la salud y el bienestar animal (Rhushen *et al.*, 2012), razón por la que es importante seguir con el estudio de su aplicación y uso en la recolección de datos durante el pastoreo.

Los acelerómetros triaxiales HOBO® (62 Pendiente G registradores de datos) se han utilizado previamente en el ganado para evaluar los patrones de la actividad del ganado lechero (De Passille *et al.*, 2010), el comportamiento en reposo de los becerros (Bonk *et al.*, 2013) y vacas lecheras (Mattachini *et al.*, 2013) y evaluando el pastoreo vs no pastoreo en vacas lecheras (Nielsen, 2013); sin embargo hasta ahora, no hay suficiente investigación en México que aborde el comportamiento de ganado lechero en pastoreo con el uso de registradores de la conducta animal. Por ello, el objetivo del presente estudio es validar los sensores con acelerómetros de tres ejes con respecto a la observación visual de la actividad de pastoreo y rumia del ganado lechero en lactación.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Inclusión del pastoreo en la dieta de los bovinos lecheros

La producción lechera en México se desarrolla de acuerdo a muchas condiciones basadas en el poder tecnológico, climatológico y socioeconómico, y cada una de estas adquiere características regionales mediadas por la tradición y las costumbres de cada lugar (Gallardo *et al.*, 2004).

2.1.1. Producción intensiva en pastoreo

La alimentación de bovinos lecheros en su mayoría se basa en el consumo de la pradera, el resto es concentrado muy similar al del ganado estabulado; las praderas en su mayoría están constituidas de una gramínea y una leguminosa (raygrass y alfalfa); las vacas permanecen casi todo el tiempo en la pradera excepto cuando entran a ordeño. Las razas más comunes de encontrar en este tipo de producción son: Holstein, Jersey y Cruzas. Este tipo de producción está muy poco difundida en México, debido a que las condiciones topográficas no lo permiten, algunos de los lugares donde podemos encontrar algunos ejemplos de este tipo de producción es en los estados de Puebla, Veracruz, Tlaxcala, Sonora, Aguascalientes y Querétaro (UNAM, 2012).

2.1.2. Producción semi-intensiva

En su mayoría se emplea ganado Holstein, Suizo o Criollo, cuya alimentación primordialmente se basa en el pastoreo y en ocasiones es complementada con forraje de corte y alimento balanceado (UNAM, 2012). El fin de este tipo de sistemas es comercializar la leche cruda o bronca al consumidor o venta a los productores artesanales de queso. Las vacas se mantienen en condiciones de semi estabulación y en pequeñas extensiones de terreno, las instalaciones están adecuadas a la crianza del ganado lechero y en muchas de las ocasiones sin importar la producción de leche y el bienestar animal.

2.1.3. Otros sistemas de producción

2.1.3.1. Sistema familiar

Sistema en el que el principal objetivo es aprovechar los recursos de familias rurales. Es un sistema de producción de tipo campesino, la carencia de tecnificación y baja escala de producción es notable, pero con bajos costos de producción. En México, este tipo de producción es la que aporta alrededor de la tercera parte de la producción nacional, siendo esta la principal fuente de materia prima para la industria de lácteos e industrias pasteurizadoras (Ortiz *et al.*, 2005)

Este sistema se basa en la explotación del ganado lechero en condiciones de estabulación o semi estabulación, la mano de obra es familiar, las instalaciones son adecuadas a la crianza del ganado productor de leche, las principales razas utilizadas son Holstein, Pardo suizo, y cruza muy cercanas a la Holstein (Ortiz *et al.*, 2005).

Los productores diversifican la alimentación del ganado lechero, utilizando los pastos que se desarrollan en las besanas de los cultivos de maíz, praderas nativas, así como arvenses que crecen junto al maíz (Heredia, 2006). La alimentación varía mucho de productor a productor y está en función de la disponibilidad de los insumos alimenticios de los que disponen (Bastida, 2003).

2.1.3.2. Lechería de doble propósito

Su alimentación se basa en el pastoreo con el mínimo de suplementación. Este tipo de lecherías presentan una estacionalidad muy marcada y un elevado pico de lactación en épocas de lluvia. Se desarrollan en regiones tropicales y subtropicales de México. La producción está destinada principalmente a productores de queso, como leche bronca y en última estancia a industrias. La base de esta producción es la crianza de bovinos productores de carne y la producción de leche pasa a ser una actividad secundaria. Se utilizan razas que son resultado de cruza entre razas Cebuinas y Europeas (Holstein, Suizo) (UNAM, 2012)

2.2. El consumo voluntario en rumiantes

La Figura 1, resume de forma esquemática los factores involucrados en el consumo de alimento por los animales. De acuerdo con Gordon (2008), la cantidad de alimento ingerido por un animal está determinada por un gran número de factores; los factores que influyen en la ingesta de los animales pueden agruparse en diferentes clases: factores que actúan a nivel del tracto digestivo, factores de naturaleza social o fisiológicos, aquellos que incluyen características del entorno del animal y factores relacionados con la fisiología de los animales.

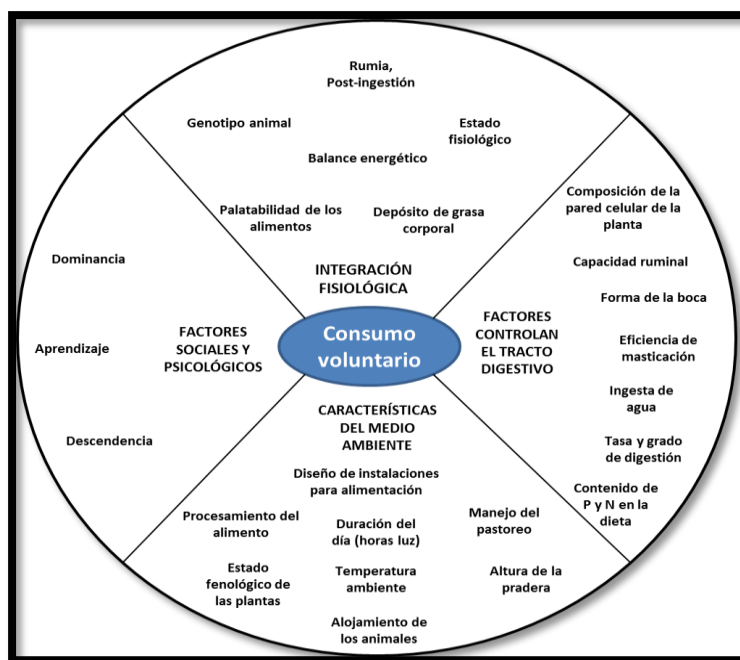


Figura 1. Factores que influyen en el consumo de alimento del animal (Gordon, 2008)

Englobado en el contexto de la producción animal, la alimentación y las características ambientales pueden influir en el consumo de alimento (Figura 2.)

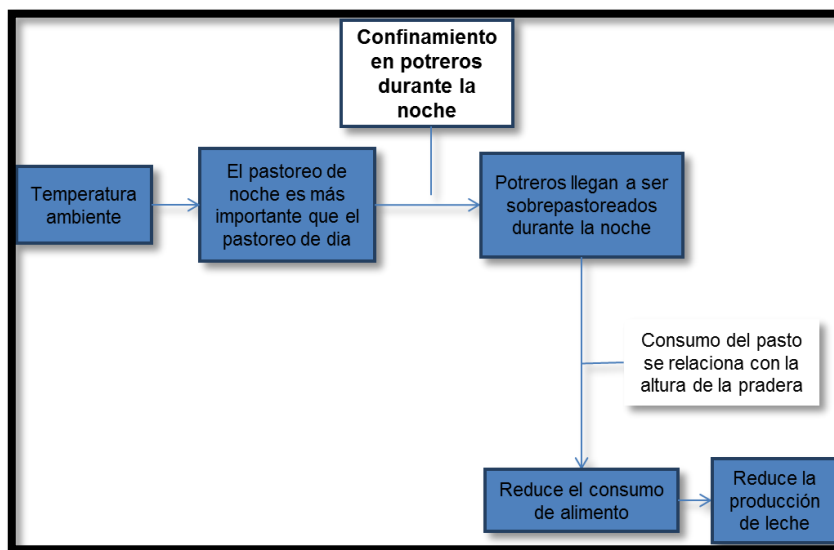


Figura 2. Eventos de manejo en el ganado lechero que limitan el consumo de alimento y en consecuencia la producción de leche (Adaptada de Gordon, 2008)

2.3. Métodos de estimación de consumo de pasto en vacas en pastoreo

Para poder cumplir con el objetivo de transformar los alimentos proporcionados a los animales en una producción secundaria eficiente, es necesario conocer el consumo de cualquier alimento que le es suministrado a los animales (Dulau, 2011); ya que, el consumo de los forrajes, en conjunto con la calidad nutricional de la dieta total, son las principales variables que afectan la producción del ganado lechero (Benvenuti *et al.*, 2008).

La estimación del consumo de materia seca (CMS) es compleja en sistemas de pastoreo y más aún que determinada estimación concuerde con la realidad debido a que los animales modifican su alimentación seleccionando diferentes especies y/o partes de las plantas (Poppi *et al.*, 1987; Oliveira *et al.*, 2007).

De acuerdo con Dualu (2011) se pueden clasificar los métodos de estimación del consumo de forraje tomando en cuenta dos criterios, las mediciones que se hacen

sobre el animal y aquellas que se hacen sobre el forraje. Los métodos que se aplican en el animal pueden ser: la colección de heces con bolsas colectoras que nos puede dar una medición directa con su colecta total o indirecta con la utilización de marcadores (Mejía, 2002). Otro de los métodos que se realizan en el animal es la fistulación del esófago (Torell, 1954).

La utilización de parámetros de comportamiento del animal tales como: tiempo de pastoreo, número de bocados por unidad de tiempo y el tamaño del bocado (Mejía, 2002), es otro método de estimación del consumo de forraje en la pradera. Los métodos que se realizan tomando en cuenta la planta son: mediante el corte antes y después del pastoreo de una área delimitada siendo la diferencia de forraje lo consumido (Dualu, 2002).

Por la utilización del pausturometro, que es una herramienta que consiste en un plato o disco que se desliza por su orificio central a lo largo de una varilla graduada, el procedimiento consiste en colocar el plato y con la altura de la biomasa comprimida saber la densidad de forraje (Dulau, 2011); realizando este procedimiento antes y posterior al pastoreo, con ayuda de la diferencia de la densidad de la biomasa podemos estimar el consumo voluntario de los animales.

Según Estrada (2014) los métodos de medición del consumo de materia seca como la diferencia de masa existente en la pradera antes y después del pastoreo y el comportamiento de las vacas durante el pastoreo son técnicas menos precisas para poder determinar el consumo de materia seca en pastoreo.

Pero de acuerdo con Macoon (2003) la técnica por diferencia de forraje es una alternativa conveniente para estimar el consumo de forraje en grupo de animales, en pastoreo bien manejado, rotativo y con periodos cortos de utilización.

2.4. Factores que influyen en el consumo de pasto en vacas en pastoreo

2.4.1. Factores relacionados a la planta

Los factores dependientes de la dieta que afectan a su ingestabilidad están sobre todo relacionados con la estructura física, la cantidad y calidad de los forrajes. Las

características no nutritivas de la vegetación tales como la biomasa, la disponibilidad forrajera y la estructura de la cubierta vegetal también pueden modificar la ingestión en los rumiantes (Hodgson, 1981; Penning *et al.*, 1986; Gibb *et al.*, 1997).

El nivel de ingestión, en parte, está determinado por las propiedades físico-químicas que caracterizan al alimento (Van Soest, 1977). Particularidades del forraje como la fragilidad, el contenido de fibra neutro detergente o la proporción de la fracción indigestible afectan de manera importante su digestibilidad (Armstrong *et al.*, 1986; De Boever *et al.*, 1990).

La falta de palatabilidad (es decir la propiedad de provocar una sensación desagradable en cuanto a sabor, olor o tacto) puede provocar una menor ingestión de algunas plantas, esto puede depender del hecho de que los animales hayan tenido la oportunidad o no de acostumbrarse a una especie determinada, o simplemente que algunas especies de plantas son más preferidas que otras y algunas son ingeridas con mayor facilidad en determinada etapa de crecimiento (McClymont, 1974).

El consumo de los animales está influenciado por la altura de la pradera, la proporción de hojas y la disponibilidad (Pearson e Ison, 1994) y en parte, está determinado por las propiedades físico-químicas que caracterizan al alimento (Van Soest, 1977). La disponibilidad se refiere a la cantidad de pasto por unidad de peso vivo animal (Hodgson, 1979). Cuando la disponibilidad de pasto es baja, la ingestión se limita a factores no nutricionales como la aprehensión del alimento (Allden y Whittaker, 1970). Cuando la disponibilidad es mayor, el incremento en la ingestión se ralentiza, debido a la acción limitante de factores nutricionales como el descenso de la digestibilidad de la dieta o limitaciones de tipo físico o metabólico (Hodgson, 1977; Penning, 1986).

Particularidades del forraje como la fragilidad, el contenido de fibra neutro detergente o la proporción de la fracción indigestible afectan de manera importante su digestibilidad (Armstrong *et al.*, 1986; De Boever *et al.*, 1990), debido a la

acumulación de partículas sólidas en el rumen que suponen una limitación importante en el ritmo de paso de la digesta y, en consecuencia, en la ingestión. Por lo tanto, las variaciones que sufre la composición física y química de las plantas con la maduración (aumento de la proporción de fibra, lignina y sílice, y reducción de la proteína y los hidratos de carbono no estructurales), que se manifiesta por los cambios en la proporción hoja-tallo (Lamb *et al.*, 2002) y que se acompaña de un descenso de la digestibilidad, pueden limitar la ingestión de forraje por el incremento en el tiempo de retención en el rumen.

Rovira (1996) menciona que a mayor altura en las plantas pastoreadas avanza la madurez de la planta y declina la digestibilidad y a su vez baja el consumo del pasto y a medida que la altura del pasto disminuye los animales le dedican más tiempo a pastorear (McClymont, 1974) ya que hay menor disponibilidad de forraje y por lo tanto se compensa con mayor tiempo de pastoreo.

2.4.2. Factores relacionados al animal

Cuando el forraje es la única fuente de alimento para los rumiantes en pastoreo, deberá proveer al animal todos los nutrientes necesarios para una eficiente digestión fermentativa (Pearson e Ison, 1994). El tipo de animal, el peso, el estado fisiológico y la productividad de los animales en pastoreo son importantes en relación a su consumo (Weston, 1982). Los animales difieren en su capacidad física para comer (tamaño de bocado, tiempo de pastoreo, volumen ruminal, etc.), y en su habilidad para utilizar un alimento dado y en sus requerimientos nutricionales (Pearson e Ison, 1994).

Los animales aumentan su ingestión de pradera a medida que ascienden sus necesidades energéticas. Por lo tanto, la ingestión es generalmente mayor en animales magros que en los gordos; además, es también mayor en animales que producen leche que en los no lactantes (McClymont, 1974).

La edad también determina niveles distintos de consumo. Un ternero puede comer diariamente hasta más de un 3% de su peso vivo en materia seca, pero no así una

vaca adulta, que por lo general no pasa del 2.5%, aunque el forraje sea de excelente calidad (Rovira, 1996).

2.4.3. Factores relacionados al medio ambiente y manejo

Como es obvio, sobre la ingestión de alimento de un animal en un día determinado influyen diversos factores (Arnold y Dudzinski, 1974). El tipo de manejo del pasto afecta a la ingestión, debido a la acción que ejerce sobre la disponibilidad forrajera y la dinámica vegetal (Vallentine, 1990). A medida que la pradera se hace más corta aumenta la cantidad de mordiscos, pero, como disminuye la ingestión por bocado se llega a un punto en el que no se alcanza a compensar y disminuye la ingesta por hora (Arnold y Dudzinski, 1974).

La carga ganadera, además, ejerce un efecto sobre la conducta de pastoreo en el sentido de un cambio en la disponibilidad de pasto. Baker *et al.* (1981a,b) señalaron que el tiempo de pastoreo aumenta al incrementarse la carga ganadera, sin embargo puede no ser suficiente para mantener el nivel de ingestión.

En cuanto al manejo de las praderas, Minson (1990) menciona que el objetivo de un buen manejo de praderas es el proveer al animal con suficiente pasto y así asegurar un buen tamaño de bocado o mordida. Sin embargo; Allison (1985) indica que no hay diferencias significativas en la producción animal entre un sistema rotacional y el pastoreo continuo. Como regla general, al incrementarse la intensidad del pastoreo, el ganado tiene menor oportunidad de seleccionar su dieta, debido a que se incrementa la velocidad de cambio de las especies y partes de las plantas preferidas. No obstante, Peyraud *et al.* (1996) señalaron que los bajos tiempos de pastoreo registrados en vacas manejadas en pastoreo en franjas, reflejarían la habilidad de los animales de anticipar el cambio a una nueva franja, por lo que el tiempo total de pastoreo disminuiría dado que las vacas preferirían esperar la nueva franja aportada después de cada ordeña.

La ingesta de alimento también puede verse modificada por las condiciones ambientales (Arnold, 1985); en lo que se refiere a la temperatura, cuando son altas

pueden actuar reduciendo el tiempo de pastoreo y por consiguiente la ingestión, al igual que la presencia de una elevada humedad relativa que actúa afectando al ritmo de pérdida de calor (Allison, 1985; Arnold, 1985; Schacht y Malechek, 1989). Reyes *et al.* (2005) mencionan que los mayores porcentajes de animales pastando se encontraron en la época lluviosa, en las primeras tres horas, después de ser introducidos a la pradera, tanto en la tarde como en la mañana, mientras que en la época poco lluviosa, estos se extendieron hasta cinco o seis horas en la tarde. Esto pudo deberse a la disminución de la disponibilidad del pasto (Alonso y Senra, 1993; Pinheiro, 1998)

2.4.4. Tasa de sustitución y asignación de pasto

Para la asignación del pasto se calcula la carga animal, esta se define como el número de animales que pastorean en una superficie dada y por un tiempo determinado y se expresa, comúnmente como la cantidad de unidades animal por ha, entendiéndose una unidad animal (UA) como una vaca adulta de 450 kg con becerro al pie, o bien su equivalente. Para calcular la carga animal, se debe considerar la cantidad de forraje disponible, requerimiento diario de forraje por animal y el porcentaje de utilización.

Cuando las vacas en pastoreo reciben complementos, el consumo de MS de pradera generalmente disminuye, lo cual es conocido como tasa de sustitución (Kellaway y Porta, 1993). Existen algunas justificaciones por las cuales las vacas en pastoreo deben ser complementadas, entre las más importantes podemos mencionar dos de gran interés:

- Cuando la masa a pastorear por unidad de superficie es baja, la cantidad tomada por mordisco es pequeña y la cantidad de tiempo que el animal emplea para pastorear se convierte en un factor limitante (Peyraud *et al.*, 1996).

- Para aumentar el consumo total de materia seca y el consumo de energía en comparación con aquel obtenido sólo en la pradera (Peyraud y Delaby, 2001).

La complementación ya sea con concentrado o con forraje disminuye significativamente el tiempo de pastoreo y el consumo (Phillips y Leaver, 1985). De acuerdo con Balocchi *et al.* (2002), el tiempo de pastoreo disminuyó por efecto de la suplementación en promedio de 9.6 minutos por kg de concentrado aportado.

2.5. Comportamiento ingestivo de las vacas en pastoreo

En este tipo de sistemas la producción es dependiente en gran medida del consumo y calidad del forraje disponible, del uso de alimentos suplementarios y del número y productividad de los animales utilizados (Peyraud *et al.*, 1997).

Durante el pastoreo hay muchas actividades que los animales desempeñan y que estarán totalmente ligadas con el comportamiento ingestivo, de acuerdo con Rovira (1996) algunas de las actividades que cumplen las vacas en el pastoreo son: pastoreo, rumia, descanso (echadas o paradas), ingerir agua de bebida, y que estas en conjunto deben de sumar las 24 horas del día. Otros factores que influyen en el comportamiento en pastoreo son el sexo, peso vivo y condición física del animal (Arnold, 1981).

La rumia y el pastoreo son las actividades más importantes de las actividades de la vaca, siendo esta última a la que en general le dedica más tiempo el animal; el tiempo de pastoreo está muy influido por los requerimientos del animal, por la cantidad y la calidad del forraje, por el ritmo en que comen y por el tamaño de cada bocado (Rovira, 1996). Cuando la disponibilidad del pasto disminuye, los animales dedican más tiempo al pastoreo, para tratar de contrarrestar el menor peso del bocado y de esta forma, cosechar la cantidad de forraje necesaria para cubrir sus requerimientos (Ray, 2000; Ray *et al.*, 2000), pero el consumo por hora de pastoreo disminuye (Rovira, 1996).

Otro de los factores que influyen mucho en el pastoreo, son los periodos de pastoreo; varios autores concluyen que hay dos momentos muy bien establecidos donde se lleva a cabo el mayor tiempo de pastoreo, el amanecer y el atardecer (Reyes *et al.*, 2005; Rovira, 1996). Los periodos de pastoreo se ven modificados por algunas condiciones climáticas tales como, fuertes lluvias y vientos, bajas y especialmente altas temperaturas (Rovira, 1996); de acuerdo con Reyes *et al.* (2005) en épocas de lluvia las vacas mostraron una mayor preferencia por pastorear por las tardes y en épocas poco lluviosas prefirieron pastorear por las mañanas.

La intensidad de pastoreo es otro factor implicado en el pastoreo, la cual se entiende como la cantidad de bocados por minuto, que conjuntamente con el tamaño de cada bocado (gramos de materia seca por bocado) y el tiempo de pastoreo, determinan el consumo de forraje de cada animal (kg de materia seca/día) (Rovira, 1996). La conducta del animal lechero en pastoreo está estrechamente ligada a la disponibilidad y calidad del pasto, así como al consumo del mismo (Alonso y Senra, 1993; Pinheiro, 1998).

Rovira (1996) menciona otro factor que influye de manera importante en el comportamiento ingestivo en el pastoreo, que es el tipo de animal y que hace referencia al tiempo invertido en pastorear, donde animales de mayor tamaño gastan más tiempo en pastorear que animales más pequeños.

2.5.1. Actividad de rumia

La rumia es el proceso que consiste en la regurgitación de una masa de partículas grandes que vuelve a ser masticada provocando una reducción en el tamaño de la partícula acompañada de una re-insalivación y que posteriormente es deglutida (Chamberlain y Wilkinson, 2002; Ruckebusch, 1993); este es un proceso lento que ocupa alrededor de siete horas de las veinticuatro horas del día (Henderson *et al.*, 1950). Sin embargo, el tiempo que el animal destina a rumiar depende del contenido fibroso del alimento (Ramírez, 2009); altos contenidos de fibra cruda,

provocan una mayor extensión de la rumia, mientras que forrajes con mucho contenido de hoja y bajo en fibra (alta digestibilidad) determina periodos de rumia más cortos (Rovira, 1996). Otros de los factores determinantes en el tiempo de rumia es la suplementación con concentrados, tal como lo reportan Bargo *et al.* (2002) y Sayers *et al.* (2003) mencionan una disminución en el tiempo de rumia por efecto de una alta suplementación con concentrado.

La rumia ha sido considerada como un componente clave de la digestión y la ingesta de los rumiantes y tiene un efecto significativo en la composición química de la leche (Gregorini *et al.*, 2013). La rumia es importante en varios aspectos: contribuye a degradar el tamaño de la partícula, aumenta el peso específico de los forrajes, rompe la cubierta impermeable de los tejidos vegetales y aumenta la superficie del forraje accesible para que los microbios se fijen y realicen el proceso digestivo (Welch y Hooper, 1993).

Church (1976) indica que el ganado bovino puede destinar de 35 a 80 minutos a la rumia por cada kilogramo de forraje consumido, 2/3 de los mismos durante la noche. La masticación durante la rumia es relativamente tranquila y más lenta que cuando se ingieren alimentos, la velocidad puede ser influenciada por el material ingerido; los forrajes más toscos determinan una masticación más lenta que los forrajes finos. La velocidad de la masticación durante la rumia es mucho más uniforme de 50-55 movimientos masticatorios/minuto (Welch y Hooper, 1993)

Uno de los factores importantes que influyen en el tiempo que se dedica a la rumia es la condición de alimentación en la que se encuentran los animales tal como lo reportan Roca *et al.* (2010) donde estudiaron el comportamiento animal de vacas Holstein-Friesian en dos sistemas: pastoreo y estabuladas. En cuanto a la rumia mencionan que las vacas en estabulación le dedicaron más tiempo a esta actividad en comparación de las vacas en pastoreo.

Rincón y Herrera (2012) reportaron que las vacas en condición de pastoreo con oferta de forma fraccionaria aumentan su tiempo de consumo de pasto y de igual manera el tiempo dedicado a la rumia. Por su parte, Reyes *et al.* (2005) reportan

que en épocas poco lluviosas los animales en pastoreo incrementan el tiempo que dedican a la rumia sin importar la intensidad con la que pastorean.

2.6. Métodos para medir el comportamiento de vacas en pastoreo

2.6.1. Observación directa

Este es uno de los métodos más utilizados para medir la conducta de los animales; en algunos trabajos se toma en cuenta las actividades que la vaca hace durante el día bajo el pastoreo, Riquelme y Pulido (2008) nos dan un ejemplo de la medición del comportamiento ingestivo que se realizó en 2 oportunidades por cuatro observadores entrenados, observándose la actividad de alimentación en pastoreo de cada uno de los animales en intervalos de 10 minutos, durante 24 h, ya fuese visual, auditiva, o ambas cosas a la vez, metodología de Penning y Rutter (2004). Las actividades registradas fueron: comiendo, rumiando echada, rumiando parada, echada, parada, caminando y bebiendo.

Nielsen (2013) menciona que las observaciones visuales directas del comportamiento de los animales en pastoreo para obtener información sobre los patrones de conducta, consumen tiempo y no son una opción en la ganadería lechera moderna ni en experimentos de pastoreo a gran escala. Algunos trabajos como el de Rook (2000) menciona algunas desventajas como: ser un trabajo intenso y limitado por la luz diurna, además de que los datos obtenidos por este método presentan coeficientes de variación hasta de un 50%, lo que indica la baja precisión del mismo (Zorrilla, 1979).

2.6.2. Sensores electrónicos

Se ha avanzado en el desarrollo de instrumentos electrónicos cada vez más potentes, con mayor sensibilidad y mayor capacidad de almacenamiento de datos; así como la reducción del tamaño, el peso y el consumo de energía facilitan el montaje en los animales sin afectar su comportamiento (Alvarenga *et al.*, 2016) lo que abre nuevas perspectivas para el estudio de la actividad animal. Estos

dispositivos facilitan estudios de comportamiento en condiciones en que la observación es difícil, como por ejemplo durante el pastoreo nocturno (Langbein *et al.*, 1996; Scheibe *et al.*, 1998), en ambientes de montaña (Schlecht *et al.*, 2009) o lugares muy lejanos (Van Oort *et al.*, 2004).

Existen herramientas como los acelerómetros que nos permiten distinguir algunas de las actividades más notables de los animales, Cornou y Lundbye-Christensen (2007) utilizaron un acelerómetro triaxial para clasificar cinco diferentes actividades de cerdas. Las clasificaciones de actividades se basan en las dos variables registradas por el acelerómetro: (i) la aceleración dinámica provocada por cambios en la velocidad, golpes y vibraciones y (ii) la estática aceleración causada por la gravedad tierra. Un acelerómetro registra datos numéricos de estas dos variables de este modo refleja el nivel de la actividad de un animal (Müller y Schrader, 2003) y, mediante la medición de inclinación (Hanson *et al.*, 2001), los cambios en su postura.

Algunos estudios interpretan los datos del acelerómetro comparando visualmente a las actividades grabadas en vídeo (Yoda *et al.*, 2001; Okuyama *et al.*, 2004). Este enfoque, sin embargo, es subjetivo, consume tiempo y requiere una buena visibilidad del animal. Otros estudios propuestos para clasificar las actividades basadas en la transformación matemática de los datos (Watanabe *et al.*, 2005; Cornou y Lundbye-Christensen, 2007). Sin embargo, estos enfoques son complejos e implican una importante carga de trabajo manual, lo que limita su aplicación generalizada.

El comportamiento ingestivo de los animales también puede ser cuantificado con medidores electrónicos llamados “grazing recorders”, que van sujetos a arneses en la cabeza del animal. Este sistema de monitoreo fue diseñado en el Institute of Grassland and Environmental Research (Instituto de Investigación en Pastos y Ambiente) del Reino Unido (Rutter *et al.*, 1997; Champion *et al.*, 1997).

2.6.3. Dispositivos de posicionamiento

Entre las tecnologías más recientes se encuentra la navegación por satélite (GPS, del inglés Global Positioning System), empleada recientemente para la localización y seguimiento de mamíferos salvajes (Bowman *et al.*, 2000) y animales marinos (Akesson, 2002). También se ha estudiado el empleo de la tecnología GPS para el estudio de diferentes variables como el comportamiento, la elección de áreas de pastoreo o la monitorización y seguimiento de animales domésticos según Schlecht *et al.* (2004); Sickel *et al.* (2004); Ungar *et al.* (2005) sobre el ganado vacuno.

Los dispositivos recogen datos relativos a la posición del animal, luminosidad y temperatura ambiente con un intervalo de emisión de 15 minutos; permitiendo disponer de datos a tiempo real, sin que la manipulación y la presencia del hombre modifiquen los parámetros registrados, ayudando a comprender el comportamiento de los animales durante el pastoreo y la preferencia del ganado por ciertos lugares o ambientes, proporcionándonos información precisa sobre el desplazamiento del ganado en un periodo determinado, las distancias recorridas, el territorio pastoreado y las áreas preferidas (Alonso de la Varga *et al.*, 2007) pero adolecen de la precisión para estimar el tiempo que es dedicado a cortar la planta en la pradera.

III. JUSTIFICACIÓN

En los últimos años se ha mostrado un gran interés por una correcta utilización de las praderas, principalmente en el rendimiento para promover una mayor producción de los animales. El estudio del comportamiento de la ingestión de alimento durante el pastoreo en vacas nos brindará la oportunidad de entender cómo es que los animales aprovechan el alimento ofrecido.

El desarrollo de dispositivos electrónicos de gran alcance que permitan mayor sensibilidad y mayor capacidad de almacenamiento abre nuevas perspectivas para el estudio de la conducta animal (Oudshoorn *et al.*, 2013); tales dispositivos facilitan estudios de comportamiento cuando el acceso a las observaciones visuales de los animales es difícil.

Diversos estudios se han establecido para medir el tiempo de pastoreo y rumia utilizando grabadoras de comportamiento (Aikman *et al.*, 2008). Sin embargo, hasta ahora, no hay ninguna investigación significativa en México que estudie la conducta de pastoreo de vacas lecheras ni visualmente ni por el uso de grabadoras de comportamiento. El fin de este trabajo es evaluar acelerómetros triaxiales como herramienta para el estudio del tiempo de pastoreo y tiempo de rumia en bovinos productores de leche.

IV. HIPÓTESIS

Mediante el uso de sensores HOBO, que registran la aceleración (m/s^2) y el grado de inclinación ($^\circ$) de la cabeza de la vaca en un periodo de tiempo específico, es posible registrar automáticamente el tiempo efectivo de pastoreo y tiempo de rumia en vacas lecheras.

V. OBJETIVOS

Objetivo general

Validar el uso de los sensores HOBO para registrar automáticamente el tiempo efectivo de pastoreo y tiempo de rumia de vacas lactantes en pastoreo.

Objetivos específicos

- Cuantificar la materia seca pre y post-pastoreo.
- Registrar durante intervalos de tiempo establecidos y mediante observación directa el tiempo efectivo de pastoreo y el tiempo de rumia en vacas en lactación.
- Identificar cuál de los tres ejes o combinación de ellos (X, Y, Z) estiman mejor el tiempo efectivo de pastoreo y el tiempo de rumia en vacas en lactación
- Identificar los valores de aceleración e inclinación de la cabeza, registrados en los sensores HOBO durante los intervalos de tiempo establecidos para calcular el tiempo efectivo de pastoreo y tiempo de rumia.
- Validar el tiempo efectivo de pastoreo y tiempo de rumia estimado con los sensores HOBO en los intervalos de tiempo establecidos con respecto a la observación directa.

VI. LÍMITE DE ESPACIO

El trabajo se realizó en la Posta Zootécnica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma del Estado de México, ubicada en el Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, a 19° 24' 52"N y 99° 41' 20"W), a una altura de 2632 metros sobre el nivel del mar; el clima es templado subhúmedo con lluvias en verano (INEGI, 2015).

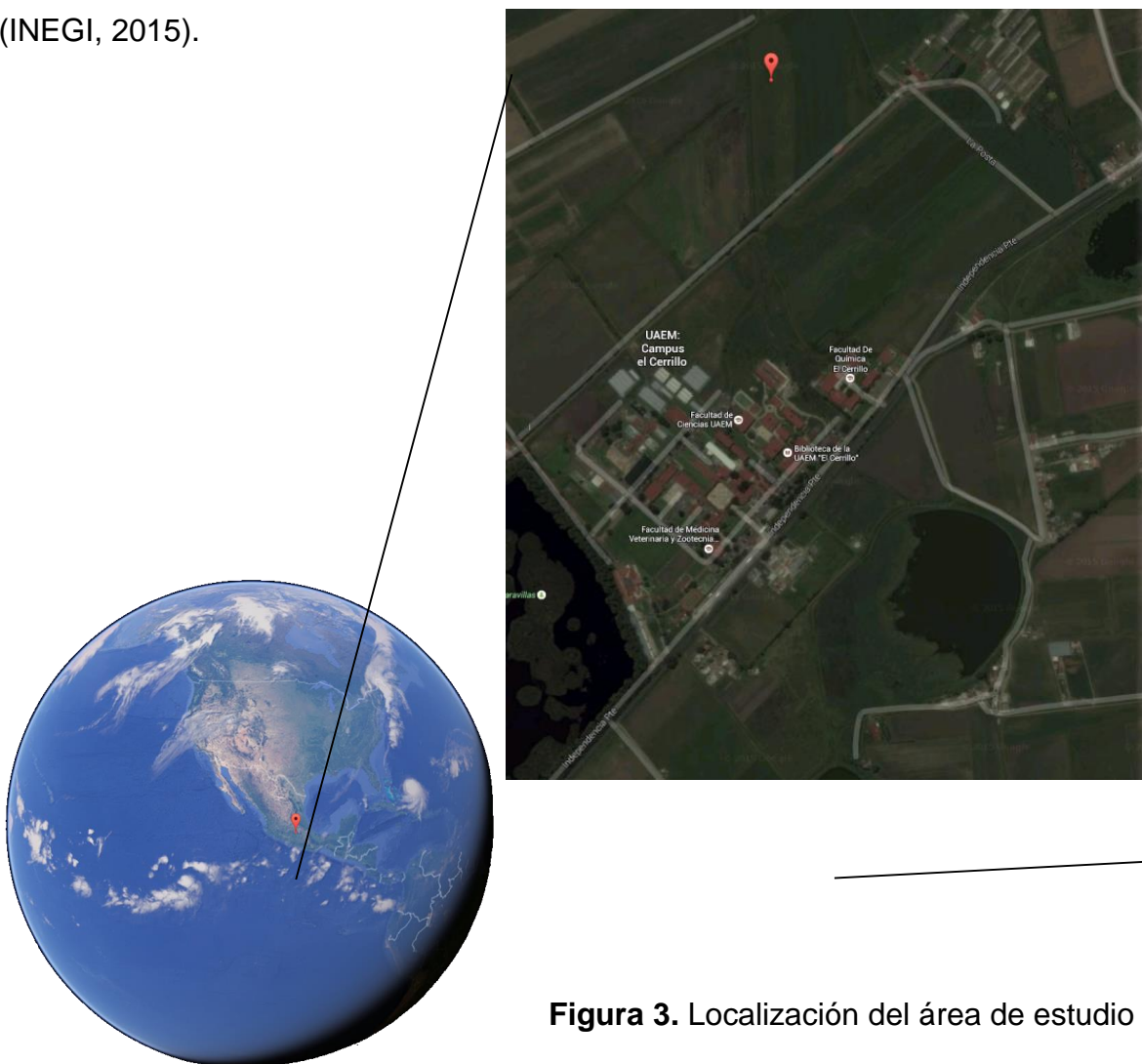


Figura 3. Localización del área de estudio

VII. LÍMITE DE TIEMPO

El trabajo se realizó, en su primera fase de campo, en un periodo de tres meses en la época de primavera-verano de 2014. Posteriormente en el periodo de julio a diciembre de 2015 se realizó la captura y procesamiento de datos, análisis estadístico, interpretación de resultados y discusión de los mismos.

VIII. MATERIAL

Material de campo:

- Siete sensores HOBO.
- Cuadrantes.
- Tijeras.
- Bolsas.
- Carretillas.
- Palas.
- Tinajas.
- Bolígrafos.
- Marcadores.
- Hojas de registros.
- Tabla de campo.
- Gamarras.
- Cinta adhesiva gris.
- Plato medidor.
- Bastones y cerco eléctrico
- Báscula.

Equipo:

- Sensores HOBO® que en lo sucesivo se denominan sensores.
- Computadora y Software HOBO Ware Lite.
- Calculadora.

Biológicos:

- 7 Vacas Holstein en producción entre primer y segundo tercio de lactación.
- Pradera, 2.5 ha de superficie.

Laboratorio:

- Balanza analítica.
- Estufa de aire forzado, mufla.

IX. MÉTODO

9.1. Animales y dieta

Se utilizaron siete vacas de raza Holstein multíparas entre el segundo y el tercer tercio de lactación. El manejo de las vacas se llevó a cabo de acuerdo a lo establecido en las normas de salud y bienestar animal de la institución. Las vacas fueron asignadas a tres grupos (dos de dos y uno de tres) de acuerdo con su producción de leche, peso vivo y días en lactación.

La alimentación estuvo basada en el pastoreo y el suministro de dietas TMR (Total Mixed Ration, por sus siglas en inglés) en la estabulación, la TMR estuvo formulada a base de ensilado de maíz, un concentrado elaborado con cereales y fuentes proteicas, y aceite de soya (Vieyra-Alberto, 2016; Vieyra *et al.*, 2016).

Para el propósito de esta investigación, la adición de distintos niveles de aceite de soya no fue evaluada. La ración TMR de las vacas aportó 16% PC y 1.9 Mcal EN/kg de MS, con una relación forraje concentrado de 60:40. La composición de la dieta se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Ingredientes (g/kg MS) y composición química (calculado) de las dietas.

Ingrediente	Dietas		
	Control	Soy-3	Soy-6
Ensilado de maíz	279.8	327.4	327.4
Heno avena	315.5	267.9	267.9
Maíz grano	183.5	130.6	89.6
Harina soya	159.1	133.9	133.9
Salvado	40.5	40.5	40.5
Canola	10.4	59.0	69.8
Aceite soya	0.0	30.4	60.7
Carbonato calcio	8.4	8.4	8.2
Premezcla vit-min	2.8	2.0	2.0
Composición química			
Materia seca, %	57.8	54.7	54.9
Proteína bruta, %	16.0	16.0	16.0
Fibra neutro detergente, %	38.7	38.9	38.9
Energía Neta, Mcal/kg	1.9	1.9	2.0
Relación Forraje: Concentrado	60:40	60:40	60:40

Las vacas fueron ordeñadas dos veces en el día (06:00 y 15:00 h). El tiempo de pastoreo fue de 12 horas distribuidas en dos horarios: de 7:00 a 15:00 h. y de 16:00 a 20:00 h.

9.2. Desarrollo experimental

9.2.1. Periodos experimentales

El estudio de comportamiento en pastoreo comprendió tres periodos experimentales de 19 días cada uno, con 10 días de adaptación al manejo y alimentación. En cada periodo experimental se establecieron tres días para

realizar las observaciones directas y el registro de los datos con los sensores, para los tres periodos experimentales se tuvieron nueve días de muestreo. Los días establecidos fueron el 22, 23, 24 de julio; 13, 14,15 de agosto y 03, 04, 05 de septiembre del 2014.

9.2.2. Sistema de pastoreo

El pastoreo fue rotacional en praderas polífitas de 2.5 ha. Se realizaron mediciones en una pradera de pasto-leguminosas-maleza del 01 al 30 de julio de 2014. Se recogieron treinta muestras individuales por hectárea de la pradera al inicio del estudio y la composición de esta fue: *Lolium perenne* (53%), *Trifolium repens* (29%), *Pennisetum clandestinum* (9%), *Festuca arundinacea* (7%) y maleza (2%). Las muestras se recogieron utilizando un cuadrante de 0.25*0.25 m (Figura 4), que se arrojó 30 veces en la pradera siguiendo un patrón "W".



Figura 4. Cuadrante para la recolección de la biomasa disponible

Todas las plantas dentro del cuadrante fueron cortadas por encima del nivel del suelo con tijeras de esquila y luego el material fue pesado, colocado en bolsas de plástico, etiquetado y luego llevado al laboratorio. En el laboratorio, el peso se registró después de secar las muestras a 60 °C hasta obtener un peso constante.

Para medir la altura del pasto en pre-pastoreo y post-pastoreo, se establecieron nueve días de muestreo, en los días 22, 23, 24 de julio; 13,14,15 de agosto y 03, 04, 05 de septiembre del 2014. Se utilizó un plato ascendente, el cual se colocó dentro del cuadrante de 0.5 m² para medir la altura y posteriormente se cosecho la biomasa disponible dentro del cuadrante. Adicionalmente se tomaron 300 medidas de altura de la pradera en los días de muestreo. Posterior a esto se relacionó la altura de la pradera promedio dentro del cuadrante con la materia seca (MS) disponible dentro del cuadrante para obtener una ecuación lineal para estimar la MS disponible en los días de observación establecidos. El procedimiento se realizó en pre-pastoreo y post pastoreo para estimar la MS disponible pre-pastoreo y post pastoreo (Dobos *et al.*, 2009).

La superficie de pastoreo designada fue ajustada cada día durante la etapa de medición con cerco eléctrico; en esta fase la determinación del contenido de materia seca se realizó con el método de microondas (Undersander *et al.*, 1993). Se introdujo la muestra en el microondas durante 5 min. La potencia de salida fue de 850 watts (Demanet *et al.*, 2004)

Finalizado el tiempo de pastoreo, los animales fueron alojados en corrales individuales (4 x 3.5m), provistos de comedero y bebedero, donde se les proporciono la ración TMR *ad libitum*.

9.2.3. Calibración y colocación de los sensores HOBO

Previo a la colocación de los sensores, se utilizó el software Onset HOBO[®]-ware (Onset Computer Corporation) para programar los sensores y, registrar la aceleración y el grado de inclinación cada 30 segundos, por lo tanto, los sensores tuvieron la capacidad de registrar la información durante 24 horas, durante los nueve días establecidos para el experimento en intervalos de 30 segundos.

Los sensores fueron colocados al inicio de cada periodo experimental y permanecieron en las vacas hasta el final de dicho periodo experimental. Los sensores se colocaron en la parte media de la mandíbula, fueron sujetos a una

gamarra con cinta adhesiva industrial, para evitar que se movieran o que cayeran (Figura 5).



Figura 5. Colocación y fijación del sensor adyacente a la mandíbula de la vaca.

La posición del sensor fue: La cara A (Figura 6.) estuvo muy relacionado con el musculo masetero de tal forma que el eje x del sensor fue paralelo al suelo; el eje Y perpendicular al suelo y el eje Z paralelo al suelo apuntando hacia la mandíbula



Figura 6. Sensor HOBO para el registro de movimientos de mandíbula y cabeza de las vacas en pastoreo

Al final de cada periodo experimental, los sensores fueron retirados de las vacas para descargar los datos usando el software Onset HOBO[®]-ware (Onset Computer Corporation) mediante un acoplador y una estación base óptica con una interfaz USB para transferir los datos a un ordenador y estos datos se exportaron a Microsoft Excel[®] (Microsoft Corporation, Redmond, WA).

9.2.4. Periodos de observación directa del tiempo de pastoreo y tiempo de rumia

Se entenderá como observación directa a la acción de un observador previamente entrenado para permanecer cerca de una vaca y medir el tiempo (en segundos) que emplea una vaca para corte de la planta en la pradera y el tiempo de rumia (segundos), empleando un cronometro digital (Figura 7).

Las observaciones se realizaron por tres observadores entrenados previamente. Adicionalmente, se registró los segundos que las vacas sólo olían y caminaban con la cabeza baja en relación con el suelo, los segundos que estaban jugando con otras vacas, bebiendo o sin tener alguna actividad. Estas actividades fueron registradas también por los sensores, por lo que fueron útiles para distinguir entre el pastoreo efectivo y otras actividades.

El registro de las observaciones se realizó de la siguiente manera: a lo largo de los días de registro (DR), el observador 1 realizó una observación visual directa de 30 minutos/vaca/día por la mañana hasta completar las observaciones visuales de las siete vacas. En el día de registro siguiente el observador 2 registro las observaciones visuales al mediodía y en el siguiente día de registro el observador 3 registró las observaciones visuales por la tarde siguiendo el mismo procedimiento del observador 1 hasta completar los nueve días de registro.



Figura 7. Registro de actividades de las vacas por observación directa

Para este estudio, los periodos de observación de 30 minutos/vaca incluyeron actividad de pastoreo o actividad de rumia o ambas actividades. Se obtuvieron un total de 63 observaciones visuales directas para el pastoreo y la actividad de rumia (7 vacas X 9 días X 1 observador/día); no obstante, se obtuvieron 50 y 28 registros de observaciones visuales para el pastoreo y el tiempo de rumia, respectivamente. En términos de tiempo, de un total de 31,5 horas (63 x 30 min)/ 60 min).

Este enfoque se siguió porque las observaciones visuales del tiempo de pastoreo y rumia registradas durante períodos cortos en diferentes momentos del día fueron más precisas que las grabaciones de una hora o más, debido a que los observadores se sintieron cansados después de 30 min de observaciones, especialmente para observaciones de pastoreo.

La información obtenida en cada uno de los periodos experimentales se recopiló en tablas de Excel, se analizó y comparo con los datos registrados y almacenados en el software de los sensores HOBO.

9.3. Variables evaluadas

- a) Tiempo efectivo de pastoreo (TEP): se refirió concretamente al tiempo empleado por el animal para cortar la planta en la pradera.
- b) Tiempo de rumia (TR): se refirió al tiempo empleado por el animal para regurgitar el bolo alimenticio y masticación para posteriormente repetir el proceso.

9.3.1. Método de registro para evaluar el TEP.

Los sensores registraron la aceleración (m/s^2) y la inclinación sobre los ejes X, Y y Z, por lo tanto, los tratamientos para evaluar el tiempo de pastoreo fueron:

- a) observación visual directa
- b) aceleración en el eje X del sensor HOBO
- c) aceleración en el eje X e inclinación en el eje Y del sensor HOBO

9.3.2. Métodos de registro para evaluar TR.

Los sensores registraron la aceleración (m/s^2) y la inclinación sobre los ejes X, Y y Z, por lo tanto, los tratamientos para evaluar el tiempo de rumia son:

- a) observación visual directa
- b) aceleración en el eje Z del sensor HOBO
- c) aceleración en el eje Z e inclinación en el eje Y del sensor HOBO

Cualquier otra combinación de ejes no mejoró la exactitud y precisión de las estimaciones (datos no mostrados).

El tiempo de pastoreo y rumia se evaluó utilizando datos de observaciones visuales directas y con los registradores HOBO a) por observación, b) por día y c) por vaca: a) por observación se incluyeron 50 y 28 registros, respectivamente, b) El promedio de siete vacas/día y c) por vaca el promedio de nueve días/ vaca.

9.4. Análisis estadístico

Se usó la regresión lineal para evaluar la relación entre las observaciones visuales y las estimaciones de los sensores HOBO que esta implementado en MINITAB® Release 14.1 (2003). Con la finalidad de evaluar la precisión, se utilizó el error de predicción media (MPE) en la ecuación (2) (Stergiadis *et al.*, 2016).

$$\text{MSPE} = \frac{1}{n} \sum (P-A)^2 \quad (1)$$

$$\text{MPE} = \frac{\sqrt{\text{MSPE}}}{(\sum A/n)} \quad (2)$$

Donde MSPE es el error de predicción del cuadrado medio y MPE es el error de predicción media. P y A representan los valores estimados (HOBO) y reales (observaciones visuales), respectivamente, y n es el número de pares de valores P y A comparados. Para evaluar la precisión entre las observaciones visuales y los sensores HOBO, se utilizó el gráfico de Bland-Altman (MedCalc Statistical Software trial version 15.4 bvba, Ostend, Belgium; <https://www.medcalc.org>; 2015). Como lo menciona Giavarina (2015), el coeficiente de correlación (r) y la técnica de regresión pueden ser engañosas al evaluar la concordancia (precisión), ya que estos evalúan sólo la asociación lineal de dos conjuntos de observaciones. El r mide la fuerza de una relación entre dos variables, no la concordancia entre ellas. Del mismo modo, el coeficiente de determinación, sólo nos dice la proporción de varianza que las dos variables tienen en común. Bland y Altman (1999) establecieron un método para cuantificar la concordancia entre dos mediciones cuantitativas construyendo límites de concordancia. Estos límites estadísticos se calculan utilizando la media y la desviación estándar de las diferencias entre dos mediciones. En otras palabras, la diferencia de las dos mediciones pareadas se grafica en función de la media de las dos mediciones.

X. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 2 se muestra la altura del pasto y la disponibilidad de MS en pre-pastoreo y post-pastoreo. En general, la altura del pasto y la disponibilidad de MS permanecieron constantes a lo largo del periodo de evaluación, aunque se observó un aumento de RD1 a RD9, el promedio de la altura del pasto en pre y post-pastoreo fue de 6,9 cm y 5,4 que representó una disminución de 0.058 kg DM/ 0.5m².

Cuadro 2. Altura del pasto (cm) mediante plato ascendente, materia seca disponible pre-pastoreo y post-pastoreo (kg MS/0.5 m²)

	RD1	RD2	RD3	RD4	RD5	RD6	RD7	RD8	RD9
AP Pre-pastoreo	5.3 ±1.3	7.2 ±1.9	8.3 ±2.9	6 ±1.4	6.7 ±2.7	5.2 ±1.5	7.8 ±3.1	8.7 ±3.7	7.5 ±3.6
AP Post-pastoreo	4.8 ±1.9	4.9 ±1.6	5.3 ±1.7	5.2 ±1.5	5 ±1.6	4.5 ±1.4	6.4 ±3.3	6.8 ±3.1	6.3 ±3.2
MS Pre-pastoreo	0.14 ±3.4	0.19±5 .1	0.22 ±7.7	0.35 ±8.2	0.39 ±15.5	0.30 ±8.5	0.18 ±5.8	0.30 ±9.5	0.36 ±13.5
DM Post-pastoreo	0.12 ±4.7	0.13 ±4.3	0.14 ±4.5	0.30 ±8.5	0.29 ±9.0	0.26 ±8.1	0.14 ±6.1	0.23 ±8.1	0.29 ±10.1

RD: Registro por día; **MS:** materia seca; **AP:** Altura del Pasto; **(±):** Desviación estándar

En el Cuadro 3 se muestra la correlación de Pearson donde no se observó correlación significativa ($P \geq 0.05$) entre el tiempo de pastoreo efectivo o tiempo de rumia y altura del pasto.

Cuadro 3. Correlación de Pearson entre altura de pastoreo, tiempo de pastoreo y tiempo de rumia

	Pastoreo efectivo	valor de P	Rumia	valor de P
Altura pre-pastoreo	0.553	0.122	-0.748	0.22

El Cuadro 4 muestra los parámetros del modelo de regresión lineal de observaciones directas y registradores HOBO para el tiempo de pastoreo y rumia por vaca/día. Los registradores tienen tres ejes en los que se pueden registrar datos (X, Y, Z) y cuando se estimó el tiempo efectivo de pastoreo utilizando únicamente los datos del eje-X, los sensores HOBO presentaron una relación significativa para el tiempo de pastoreo; sin embargo, el error medio de predicción (EMP) disminuyó cuando se utilizaron ejes-X y Y para la actividad de pastoreo y los ejes-Z y Y para la actividad de rumia. Se observó que EMP y la desviación estándar en la actividad de pastoreo fueron menores que en la actividad de rumia, por lo tanto, hubo evidencia estadística de que el tiempo de pastoreo puede estimarse con mayor exactitud y precisión que el tiempo de rumia.

El R^2 de predicción (R^2 -pred) en ambas actividades indicó que la aceleración en ejes-X o Z y la inclinación en el eje Y de los sensores HOBO explicaron 96% y 94% de la varianza en las observaciones visuales. Estos valores R^2 -pred fueron superiores a los reportados por Nielsen (2013). En su investigación, observó que el acelerómetro podía reconocer correctamente la actividad de pastoreo con 78% de la varianza durante un intervalo de 5 min de observaciones.

Cuadro 4. Parámetros de los modelos de regresión lineal entre observaciones directas y datos de los sensores HOBO ($n=63$) del tiempo de pastoreo y tiempo de rumia por vaca/día.

Registros	Intercepto	Valor-	Pendiente	Valor-	R ² -	EMP
		P		P	pred	
Pastoreo						
Aceleración (Eje X)	6.2 (59.5)	0.917	0.812 (0.108)	0.001	0.6027	0.153
Aceleración (eje X) e inclinación (eje Y)	5.8 (27.3)	0.832	1.01 (0.02)	0.001	0.9614	0.113
Rumia						
Aceleración (eje Z)	750 (170.3)	0.001	-0.276 (0.306)	0.381	0	0.362
Aceleración (eje Z) e inclinación (eje Y)	-84.9 (53.8)	0.126	1.02 (0.04)	0.001	0.9452	0.268

EPM: error medio de predicción, R²pred: R² de predicción

Las Figuras 8a-b muestran un gráfico de Bland-Altman para comparar la precisión de los sensores HOBO en el tiempo efectivo de pastoreo o tiempo de rumia y observaciones visuales. El sesgo se calculó como el valor determinado por los sensores HOBO menos el valor determinado por las observaciones visuales. Como se muestra en la Figura 8a, las observaciones están separadas de la línea media negra lo cual indicó que los sensores HOBO produjeron estimaciones sistemáticas diferentes para las actividades de pastoreo y rumia cuando solamente se usaron los ejes-X o Z. La Figura 8b, muestra mayor precisión cuando se usaron ejes-X y Y o ejes-Z y Y para obtener las estimaciones, debido a que las observaciones estuvieron más cercanas a la línea media negra y dispersas a lo largo de ella.

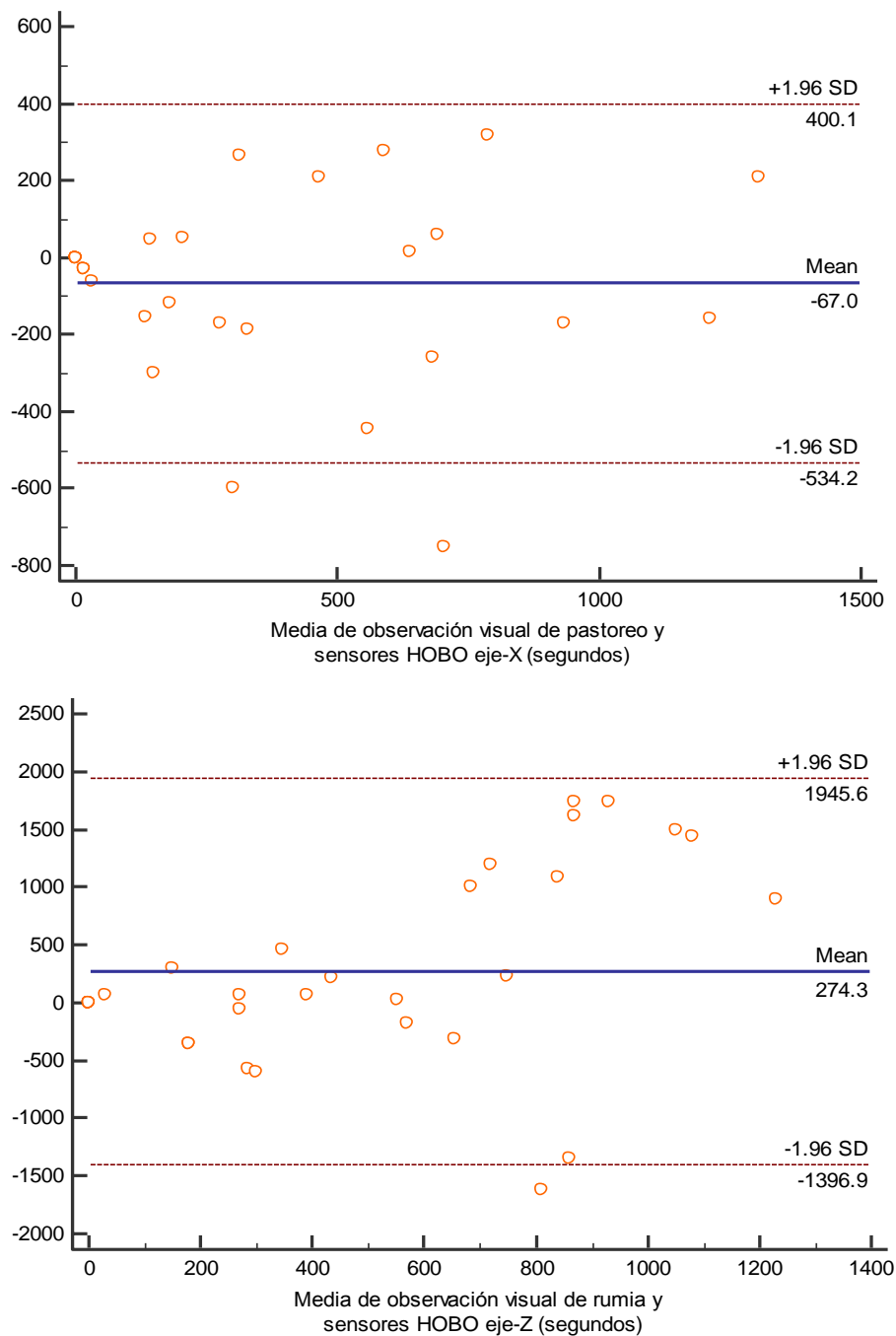


Figura 8a. Gráfico de Bland-Altman para evaluar la precisión de los sensores HOBO cuando se utilizó el eje X o eje Z para estimar el tiempo de pastoreo y rumia con respecto a las observaciones visuales.

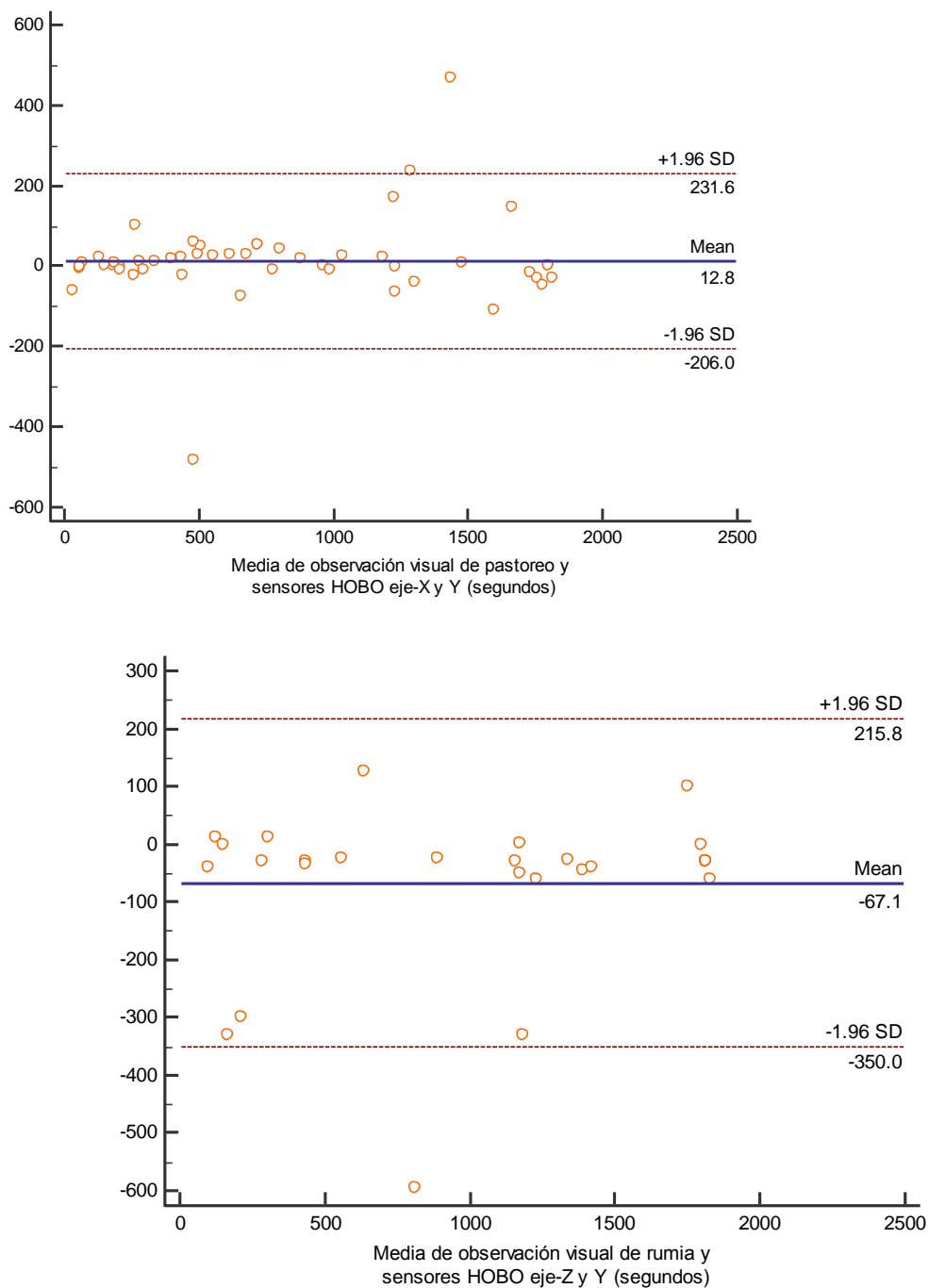


Figura 8b. Gráfico de Bland-Altman para evaluar la precisión de los sensores HOBO cuando se utilizó el eje-X y Y ó eje-Z y Y para estimar el tiempo de pastoreo y rumia con respecto a las observaciones visuales.

En el Cuadro 5 se presentan los parámetros del modelo de regresión lineal cuando los valores medios de los sensores HOBO se usan como predictores para el tiempo de pastoreo y rumia, (por día como por vaca). Se observa que cuando el análisis del R² de predicción del tiempo de pastoreo por día explica 29% más de la variabilidad con respecto al análisis por vaca, estos resultados fueron similares al estudio realizado por Ruuska *et al.* (2016) que informaron R² = 0.94 para el tiempo de pastoreo; sin embargo Delagarde y Lamberton (2015) obtuvieron un valor más alto por día (R² = 0.98).

Cuadro 5. Parámetros del modelo de la línea de regresión cuando los valores medios de los datos de los sensores se utilizan como predictores para el tiempo de pastoreo y rumia.

Registros		Intercepto	P-Valor	Pendiente	P-Valor	R²- pred	EMP
Pastoreo ^g							
Día	<i>n</i> =9	-31.5 (35.6)	0.405	1.05 (0.045)	0.001	0.9617	0.047
Vaca	<i>n</i> =7	-38.7 (148.1)	0.804	1.04 (0.188)	0.003	0.6668	0.184
Rumia ^f							
Día	<i>n</i> =9	-131.2 (107.5)	0.262	1.11 (0.099)	0.001	0.9053	0.099
Vaca	<i>n</i> =7	-61.2 (196.3)	0.768	1.01 (0.182)	0.003	0.6512	0.394

^g Estimación del tiempo de pastoreo usando la aceleración (eje X) e inclinación (eje Y)

^f Estimación del tiempo de rumia utilizando aceleración (eje Z) e inclinación (eje Y)

EMP: error medio de predicción; R²-pred: R² de predicción.

Estudios previos han informado de diferentes relaciones entre diferentes técnicas de medición automatizadas de rumia y observaciones visuales, los resultados de este estudio mostraron una R²-pred = 0.905 por día que es mayor a la reportada por Büchel y Sundrum (2014) que alcanzaron R² = 0.74 y Burfeind *et al.* (2011)

reportaron R^2 entre 0,22 a 0,79 dependiendo de la edad de los animales. No obstante, en este estudio, cuando se evalúa el tiempo de rumia por vaca, el R^2 -pred es menor que el reportado por Delagarde y Lamberton (2015) quienes observaron un $R^2 = 0.99$ por vaca.

De acuerdo con Tedeschi (2006), la exactitud y la precisión son dos conceptos clave para evaluar la relación de un modelo (observado contra predicho); La exactitud mide cuán estrechamente los valores estimados del modelo son los valores verdaderos y la precisión mide cuán estrechamente los valores predichos del modelo individual están dentro de los demás. La Figura 9 muestra la relación de los valores estimados de los sensores HOBO con respecto a las observaciones visuales por vaca/ día (a), por día (b) y por vaca (c) de esta manera, las lecturas de los sensores HOBO fueron exactas ya que se mostraron consistentemente distribuidas a lo largo de la línea de regresión, sin embargo fueron ligeramente inexactas cuando se evaluaron las estimaciones de pastoreo y rumia por vaca (c), ya que presentó un mayor EMP que cuando se realizó el análisis por vaca/ día (a) o por día (b).

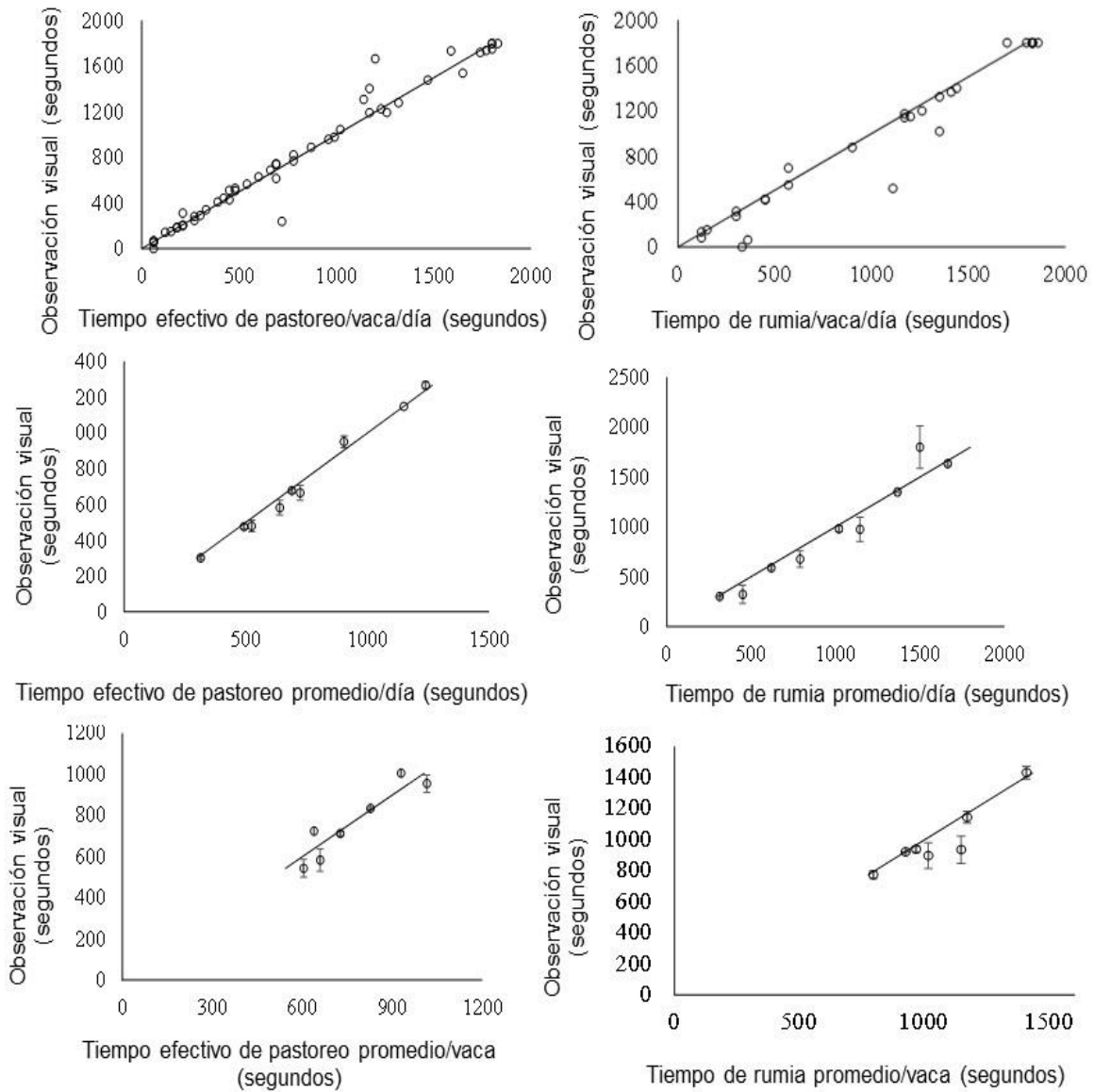


Figura 9. Relación entre las observaciones visuales del tiempo de pastoreo y las lecturas de los registradores de datos. Línea negra sólida: $X = Y$; Círculos: estimaciones del tiempo de pastoreo y rumiantes con respecto a observaciones visuales.

Medir el comportamiento a través de las escalas temporales puede facilitar la comprensión de los factores que impulsan la selección de recursos y los

mecanismos de afrontamiento con las condiciones de los pastizales (Owen-Smith *et al.*, 2012; Anderson *et al.*, 2013). Por lo tanto, el seguimiento del comportamiento en tiempo casi real puede permitir decisiones de gestión más precisas y oportunas para optimizar el rendimiento animal, el bienestar y los resultados ambientales (González *et al.*, 2015). El presente estudio se llevó a cabo para investigar si los sensores HOBO pueden emplearse para medir el tiempo efectivo de pastoreo y de rumia de vacas lecheras. En un estudio preliminar Miranda-De la Lama *et al.* (2015) obtuvieron estimaciones de pastoreo y tiempo de rumiantes que explicaron el 75% y el 53% de la variabilidad en las observaciones visuales, respectivamente, y se concluyó que los sensores HOBO pueden ser utilizados para estimar el comportamiento de pastoreo de vacas lecheras.

En este estudio se demostró que las estimaciones de los sensores pueden ser mejoradas y además ser usadas para estimar el tiempo de pastoreo y rumia por vaca/ día y por día con precisión; Sin embargo, las estimaciones del tiempo de pastoreo y rumia por vaca deben tomarse con cuidado, esto también fue reportado por Ambriz-Vilchis *et al.* (2015) que reportaron un R^2 entre 0.28 a 0.95 que dependió del animal. Una posible razón para ello podría atribuirse al sesgo introducido por el observador debido a que cuando una vaca está caminando con la cabeza agachada con respecto al suelo, el observador pudo haber considerado esa actividad como pastoreo efectivo. En el caso del tiempo de rumia, cuando una vaca está rumiando a veces hace movimientos suaves para limpiar su cuerpo, por lo tanto, los sensores HOBO registraron la aceleración como si se tratara de un movimiento de masticación, por lo tanto, estos sesgos pudieron haber introducido mayor variabilidad en el análisis por vaca.

XI. CONCLUSIONES

Los resultados del presente estudio mostraron que la validación de los sensores HOBO con respecto a las observaciones visuales de tiempo efectivo de pastoreo y tiempo de rumia en vacas lecheras fue confiable, siendo su desempeño superior cuando las estimaciones se analizaron por vaca/día y por día que por vaca. Por lo tanto, se deben realizar una investigación a futuro para poder aumentar la exactitud de las estimaciones por vaca.

XII. LITERATURA CITADA

- Aikman, P.C., Reynolds, C.K., and Beaver, D.E. (2008). Diet digestibility, rate of passage, and eating and rumination behaviour of Jersey and Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 91(3), 1103-1114.
- Ambriz-Vilchis, V., Jessop, N.S., Fawcett, R.H., Shaw, D.J., Macrae, A.I., (2015). Comparison of rumination activity measured using rumination collars against direct visual observations and analysis of video recordings of dairy cows in commercial farm environments. *J. Dairy Sci.* (98), 1750-1758.
- Akesson, S. (2002). Tracking fish movement in the ocean. *Trends in ecology & Evolution*, Vol. 172(2), 56-57.
- Allden WG y Whittaker IAM (1970). The determinants of herbage intake by grazing sheep: the interrelations of factor influencing herbage intake and availability. *Aust. J. Agric. Res.* (21), 755-766.
- Allison CD (1985). Factors affecting forage intake by range ruminants: a review. *J. Range Management* (38), 305-311.
- Allison, C. D. (1985). Factors affecting forage intake by range ruminants: a review. *J. Range Manage.* (38), 305.
- Alonso de la Varga, M.; Bartolomé R. D.J.; García G., J.J.; Posado F., R.; Olmedo de la Cruz, S.; Vargas G., J.; Aparicio T., M.A.; Gaudioso L., V. (2007) Monitorización del pastoreo en una vacada de reses de Lidia utilizando tecnologías GPS-GPRS. [En Línea.], España, disponible en: www.centrotorolidia.net/opencms_wf/opencms/system/modules/es.jcyl.ita.site.torolidia/elements/galleries/galeria_downloads/01_Monitorizacion_GPS.
Accesado el día: 29 de agosto de 2015.
- Alonso, J.R, Senra, A. (1993). Conducta de vacas lecheras Holstein en pastoreo vespertino nocturno en las etapas medias y final del período lluvioso e inicio del seco. *Rev. Cubana Cienc. Agric.* (27), 149

- Alvarenga, F. A. P., Borges, I., Palkovič, L., Rodina, J., Oddy, V. H., Dobos, R. C. (2016). Use three-axis accelerometer to identify and classify sheep behaviour at pasture. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, (181), 91-99.
- Armstrong RH. Common TG y Smith HK (1986). The voluntary intake an "in vivo" digestibility of herbage harvested from indigenous hill plant communities. *Grass Forage Sci.* (41), 53-60.
- Arnold GW (1985). Regulation of forage intake. En: *Grazing animals*. FHW Morley (ed). Elsevier. Amsterdam, The Netherlands: pp. 79-104.
- Arnold W.G, Dudzinski L. M., (1974). Efectos de la estructura y densidad de la pastura sobre lo que ingiere el animal en pastoreo y su productividad, en: *Utilización Intensiva de pastizales*, primera edición, Editorial Hemisferio Sur. Argentina.
- Baker RD. Alvarez F y Le Du YLP (1981a). The effect of herbage allowance and milk intake upon herbage intake and performance of grazing suckler cows and calves. *Grass Forage Sci.* (36), 189-200.
- Baker RD. Le Du YLP y Alvarez F (1981b). The herbage intake and performance of sep-stocked suckler cows and calves. *Grass Forage Sci.* (36), 201-210.
- Bargo F, LD Muller, JE Delahoy, TW Cassidy. (2002). Milk response to concentrate supplementation of high producing dairy cows grazing at two pasture allowances. *J Dairy Sci* (85), 1777-1792.
- Barrett P. D., Laidlaw A. S., Mayne C. S. and Christie H. (2001). Pattern of herbage intake rate and bite dimensions of rotationally grazed dairy cows as sward height declines. *Grass and Forage Science*, (56), 362-373.
- Bastida L. J. (2003) Análisis de la alimentación en sistemas campesinos de producción de leche en el noreste del Estado de México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca Estado de México.

- Benvenuti MA, Gordon IJ, Poppi DP. (2008). The effects of stem density of tropical swards and age of grazing cattle on their foraging behaviour. *Grass and forage Science* (63), 1-8.
- Bland, J.M., Altman, D.G (1999). Measuring agreement in method comparison studies. *Statistical Methods in Medical Research*. (8), 135-60.
- Bonk, S., Burfeind, O., Suthar, V.S., Heuwieser, W. 2013. Technical note: Evaluation of data loggers for measuring lying behavior in dairy calves. *J. Dairy Sci.* 6, 3265-3271.
- Bowman, J.L.; Kochanny, C.O.; Demarais, S.; Leopold, B.D. (2000). Evaluation of a GPS collar for white-tailed deer. *Wildl. Soc. Bull.* (28), 141-145.
- Büchel, S., Sundrum, A. (2014). Evaluation of a new system for measuring feeding behavior of dairy cows. *Comput. Electron. Agr.* (108), 12-16.
- Burfeind, O., Schirmann, K., von Keyserlingk, M.A.G., Veira, D.M., Weary, D. M., Heuwieser, W. (2011). Technical note: evaluation of a system for monitoring rumination in heifers and calves. *J. Dairy Sci.* 94, 426–430.
- Chamberlain T. A, Wilkinson M.J. (2002). *Alimentación de la vaca lechera*. Editorial Acribia, S. A., Zaragoza España.
- Champion RA, Rutter SM, Orr RJ. (1997). Distinguishing bites and chews in recordings of the grazing jaw movements of cattle. *Proceedings of the 5th Research Conference of the British Grassland Society; September 8-10; Seale-Hayne, Newton Abbot, UK.*
- Church D. C., (1976), *Digestive Physiology and Nutrition of ruminants*, segunda edición O&B Books Inc., Corvallis, Oregon.
- Cornou, C., Lundbye-Christensen, S., (2007). Classifying sows' activity types from acceleration patterns. *Appl. Anim. Behav. Sci.* (111), 262-273.
- Delagarde, R., Lamberton, P. (2015). Daily grazing time of dairy cows is recorded accurately using the Lifecorder Plus device. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, (165), 25-32.

- De Boever JL, Andries JI, de Brabander DL, Cottyn BG y Buysse FX (1990). "Chewing activity of ruminants as a measure of physical structure: a review of factor affecting it." *Anim. Feed Sci. Technol.* (27), 281-291.
- De Passille, A.M., Jensen, M.B., Chapinal, N., Rushen, J. (2010). Use of accelerometers to describe gait patterns in dairy calves. *J. Dairy Sci.* (93), 3287-3293
- Demagnet F. R., Canseco M. C., Reyes R. A., Cantero M. E. (2004). Determinación de materia seca con horno microondas, Programa de Proveedores Loncoleche-Watt's.
- Dulau D. (2011). Estimación Del Consumo De Bovinos En Pastoreo. Comparación De Distintos Métodos. Sitio argentino de Producción Animal.
- Dobos, R.C., Fulkerson, W.J., Sinclair, K., Hinch, G.N. (2009). Grazing behaviour and pattern of intake of dairy cows grazing kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) grass pastures in relation to sward height and length of grazing session. *Anim. Prod. Sci.* (49), 233-238.
- Estrada-López, I.; Avilés-Nova, F.; Estrada-Flores, J.G.; Pedraza-Beltrán, P.E.; Yong-Angel, G.; Castelán-Ortega, O.A (2014). Estimación del consumo de pasto estrella (*Cynodon plectostachyus* K. Schum.) por vacas lecheras en pastoreo mediante las técnicas de n-alcanos, diferencia en masa forrajera y comportamiento al pastoreo; *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, vol. 17, núm. 3, pp. 463-477; Universidad Autónoma de Yucatán; Mérida, Yucatán, México.
- Gallardo N José L., Villamar Angulo L., Pérez Frías H., Olivera Cazares E., (2004). Situación actual de leche de bovinos en México, Coordinación General de Ganadería, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, [En Línea.], México, disponible en: www.sagarpa.gob.mx/Dgg. Accesado el día: 17 de diciembre de 2014.
- Giavarina, D. (2015). Understanding Bland Altman analysis. *Biochemical Medica.* (25), 141-51.

- Gibb MJ. Huckle CA. Nuthall R y Rook AJ (1997). "Effect of sward surface height on intake and grazing behaviour by lactating Holstein Friesian cows." *Grass Forage Sci.* (52), 309-321.
- González, L.A., Bishop-Hurley, G.J., Handcock, R.N., Crossman, C. (2015). Behavioral classification of data from collars containing motion sensors in grazing cattle. *Comput. Electron. Agr.* (110), 91-102.
- Gordon MD. (2008). *Animal Nutrition Science*. CABI International. UK.
- Hanson, G.-A., Asterland, P., Holmer, N.-G., Skerfving, S., (2001). Validity and reliability of triaxial accelerometers for inclinometry posture analysis. *Med. Biol. Eng. Comput.* (399), 405-413.
- Gregorini, P., Dela Rue, B., Pourau, M., Glassey, C., Jago, J. (2013). A note on rumination behavior of dairy cows under intensive grazing systems. *Livest. Sci.* (158), 151-156.
- Henderson O.H., Larson W. C., Putney S.F. (1950). *La vaca lechera alimentación y crianza*. Tercera edición. Unión Tipográfica Editorial Hispano-Americana. México.
- Heredia N., D. (2006). *Evaluación de praderas perennes y anuales en estrategia de alimentación para sistemas de producción de leche en pequeña escala*. Tesis de maestría. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca Estado de México.
- Hodgson J (1977). Factors limiting herbage intake by the grazing animal. En: *Proceeding of the meeting on animal production from temperate grassland*. B Gilselan. Irish Grassland Animal Production Association, Dublin. pp. 70-75.
- Hodgson J (1979). "Nomenclature and definitions in grazing studies." *Grass Forage Sci.* (24) 11-18.
- Hodgson J (1981). Variation in the surface characteristics of the sward and the short-term rate of herbage intake by calves and lambs. *Grass Forage Sci.* (36), 49-57.

- INEGI – Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2015)
<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/compendio.aspx>
- Kellaway R, S Porta. (1993). Feeding concentrates: Supplements for dairy cows. Dairy Research and Development Corporation, Glen Iris, Victoria, Australia.
- Lamb JB. Adams DC. Klopfenstein TJ. Grant RJ. Sims PL. White LM y Willer SS (2002). "Intake and digestive kinetics of leaf and stem fractions." *J. Range Management* (55), 57-64.
- Langbein, J., Scheibe, K.M., Eichhorn, K., Lindner, U., Streich, W.J., (1996). An activity-data-logger for monitoring free-ranging animals. *Appl. Anim. Behav. Sci.* (48), 115-124.
- Macon, B; Sollenberger, L. B; Moore, J. E; Staples, C. R; Fike, J. H. Y Portier, K. M. (2003). Comparación de tres técnicas para estimar el consumo de forraje de vacas lecheras en lactancia en pasturas. Universidad de la Florida, Gainesville. *J. Anim. Sci.* (81), 2357-2366.
- Mattachini, G., Riva, E., Pompe, J.C.A.M., Bisanglia, C., Provolo, G. (2013). Methodology for quantifying the behavioral activity of dairy cows in freestall barns. *J. Anim. Sci.* (91), 4899-4907.
- McClymont L. G., (1974). Crecimiento y producción del animal en pastoreo: Valor nutritivo del forraje y factores que afectan su ingestión por los animales, en: *Utilización Intensiva de pastizales*, primera edición, Editorial Hemisferio Sur. Argentina.
- Mejía H. J., (2002). Consumo Voluntario de Forraje por Rumiantes en Pastoreo *Acta Universitaria*, vol. 12, núm. 3, septiembre-diciembre, pp. 56-63.
- Minson, J. D. (1990). *Forage in Ruminant Nutrition*. Academic Press. San Diego, CA.
- Miranda-De La Lama, G.C., Morales-Almaráz, E., Licon-Velázquez, G., Robles-José, G., Vieyra-Alberto, R., Cruz-Monterrosa, R.G., Martínez-García, C.G., Rayas-Amor, A.A. (2015). Validation of a tri-axial accelerometer for recording grazing and ruminating time of dairy cows. En: *Precision livestock Farming*.

- (Editores: Guarino M. y Berckmans D.) Precision Livestock Farming 2015 - Papers Presented at the 7th European Conference on Precision Livestock Farming, ECPLF 2015 pags. 105-114.
- Moreau, M., Siebert, S., Buerkert, A., and Schlecht, E. (2009). Use of a tri-axial accelerometer for automated recording and classification of goats' grazing behaviour. *Applied Animal Behaviour Science* (119), 158-170.
- Muller, R., Schrader, L., (2003). A new method to measure behavioural activity level in dairy cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* (83), 247-258.
- Nielsen, P.P. (2013). Automatic registration of grazing behaviour in dairy cows using 3D activit loggers. *Appl. Anim. Behav. Sci.* (148), 179-184.
- Okuyama, J., Shimizu, T., Abe, O., Yoseda, K., Arai, N., (2004). A new technique for monitoring grazing behavior of Hawksbill turtles (*Eretmochelys imbricata*) using acceleration data logger. In: *Proceedings of the International Symposium on SEASTAR2000 and Bio-logging Science (The 5th SEASTAR2000 Workshop)*, Bangkok, Thailand, December 13-15, pp. 37-40.
- Oliveira D.E., Medeiros S.R., Tedeschi L.O., Aroeira L.J.M. and Silva S.C. (2007). Estimating forage intake of lactating dual-purpose cows using chromium oxide and n-alkanes as external markers. *Scientia Agricola (Piracicaba, Braz.)*. (64), n.2, p 103-110
- Ortiz S.J., García T. O., Morales T. G., (2005). *Manual del participante: Manejo de Bovinos Productores de Leche*, Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas México-Puebla-San Luis Potosí-Tabasco-Veracruz-Córdoba, Secretaria de la Reforma Agraria.
- Oudshoorn, F.W., Cornou, C., Hellwing, A.L.F., Hansen, H.H., Munksgaard, L., Lund, P., Kristensen, T. (2013). Estimation of grass intake on pasture for dairy cows using tightly and Loosely mounted di- and tri-axial accelerometers combined with bite count. *Coput. Electron. Agr.* (99), 227-235.

- Owen-Smith, N., Fryxell, J.M., Merrill, E.H., (2013). Foraging theory upscaled: the behavioural ecology of herbivore movement. *Philos. T. R. Soc. B.* (365), 2267-2278.
- Pearson J. C., Ison L. R. (1994). Capítulo 6 Consumo y calidad del forraje, en: *Agronomía de los sistemas pastoriles*, Primera edición, Editorial Hemisferio Sur. Argentina.
- Penning PD (1986). Some effects of sward conditions on grazing behaviour and intake by sheep. En: *Grazing Research of Northern Latitudes*. O Gudmondsson (Ed). Plenum Press. New York, USA. pp. 219-226
- Penning PD, Rutter SM. (2004). Ingestive behaviour. En: Penning PD (ed.) *Herbage Intake Handbook*. Pp 151-175. British Grassland Society.
- Penning PD, Hooper GE y Treacher T (1986). "The effect of herbage allowance on intake and performance of ewes suckling twin lambs." *Grass Forage Sci.* (41), 199-208.
- Peyraud JL, EA Comeron, M Wade, G Lemaire. (1996). The effect of daily herbage allowance, herbage mass and animal factors upon herbage intake by grazing dairy cows. *Animal Zootech* (45), 201-217.
- Peyraud JL, L Delaby. (2001). Ideal concentrate feeds for grazing dairy cows responses to supplementation in interaction with grazing management and grass quality. En: Garnsworthy PC, Wiseman J (eds). *Recent Advances in Animal Nutrition*, Pp 203 Nottingham University Press, UK.
- Peyraud, J. L., L. Delaby, R. Delagarde, (1997). Quantitative approach of dairy cows nutrition at grazing: Some recent developments. XXIII Reunión Sociedad Chilena de Producción Animal. Valdivia, Chile, Octubre, pp.60-93.
- Peyraud, J.L., and Delagarde, R. (2013). Managing variations in dairy cow nutrient supply under grazing. *Animal* (7), 57-67.
- Phillips CJ, JD Leaver. (1985). Supplementary feeding of forage to grazing dairy cows. Offering hay to dairy cows at high and low stocking rates. *Grass and Forages Sci* (40), 183-192.

- Pinheiro. L. C. (1998). Comportamiento de pastoreo de los bovinos. Rev. Pecuaria de Nicaragua. (2), 41.
- Poppi D.P., Hughes T.P. and L'Huillier P.J. (1987). Intake of pastures by grazing ruminants. En: Feeding Livestock on Pasture. A.M. Nicol(Ed) New Zealand Society of Animal Production. Occasional Publication No. 10, pp. 55-63.
- Ramírez L. R; (2009). Nutrición de rumiantes: sistemas extensivos, segunda edición, Trillas. México.
- Ray , J., Benítez, D., Tandron, I., Vega, A. & Guerra, J. (2000). Conducta de vacas 5/8 Holstein x 3/8 Cebú en pastoreo racional Voisin y pastoreo fraccionado en condiciones de bajos insumos. Rev. Cubana Cienc. Agríc. (34), 295.
- Ray, J.V. (2000). Sistema de pastoreo racional para la producción de leche con bajos insumos en suelo Vertisol. Tesis Dr. Cs. Vet. Instituto de Ciencia Animal. Universidad Agraria de La Habana «Fructuoso Rodríguez Pérez». La Habana, Cuba.
- Reyes, J.J.; Senra, A.; Vidal, Ibis; González, María R.; González, Rosa M.; Fonte, Damaris (2005). Efecto de la intensidad de pastoreo en el sistema suelo-planta-animal en condiciones de bajos insumos. Comportamiento de vacas Holstein en pastoreo, Revista Cubana de Ciencia Agrícola, vol. 39, núm. 2, Instituto de Ciencia Animal, La Habana, Cuba, pp. 153-158.
- Rincón J.J., Herrera F. (2012). Comportamiento animal de vacas mestizas de la raza Carora Bajo dos modalidades de ofrecimiento del área de pastoreo en condiciones semiáridas en el estado Lara, Mundo Pecuario, VIII, N° 3, 153-165.
- Riquelme C, Pulido RG (2008). Efecto del nivel de suplementación con concentrado sobre el consumo voluntario y comportamiento ingestivo en vacas lecheras a pastoreo primaveral. Arch Med Vet 40, Valdivia, Chile, 243-249
- Roca, A.; Ferris, C.; Vance, E.; González, A. (2010). Comportamiento animal de vacas Holstein-Friesian, en dos sistemas: pastoreo y estabulación. Producción Animal. 359 p

- Rovira J (1996) Manejo nutritiva de los rodeos de cría en pastoreo, Capitulo 4: Comportamiento animal a pastoreo, editorial Hemisferio sur, Uruguay.
- Ruckebusch Y. (1993). Capitulo 4 Motilidad del conducto gastrointestinal, en El Rumiante: fisiología digestiva y nutrición. Editorial Acribia, S.A, Zaragoza España.
- Rushen, J., Chapinal, N., Passille, A.M. (2012). Automated monitoring of behavioural-based animal welfare indicators. *Anim. Welf.* (21), 339-350.
- Rutter SM, Champion RA, Penning PD. (1997). An automatic system to record foraging behaviour in freeranging ruminants. *Appl. Anim. Behaviour Sci;* (54), 185-195.
- Rutter SM, Penning PD, Rook AJ, Orr RJ, Gibb MJ, Champion RA, Huckle C. (1997). An algorithm for the automatic processing of recordings of foraging behaviour by cattle. In Hemswoth P, Spinka M, editors. *Proceedings of the 31st International Congress of the International Society for Applied Ethology;* Aug 13-16.
- Ruuska C.S., Kajavab, S, Mughala, M., Zehnerc, N., Mononen, J., (2016). Validation of a pressure sensor-based system for measuring eating, rumination and drinking behaviour of dairy cattle. *Appl. Anim. Behav Sci.* (174), 19-23.
- Sayers HJ, Mayne CS, Bartram CG. (2003). The effect of level and type of supplement offered to grazing dairy cows on herbage intake, animal performance and rumen fermentation characteristics. *Anim. Sci.*, (76), 439-454.
- Schacht WH y Malechek JC (1989). "Nutrition of goats as influenced by thinning and clearing of deciduous woodland in northeastern Brazil." *J. Anim. Sci,* (67), 2487-2497.
- Scheibe, K.M., Schleusner, T., Berger, A., Eichhorn, K., Langbein, J., Dal Zotto, L., Streich, W.J., (1998). ETHOSYS1—new system for recording
- Schlecht, E., Dickhoefer, U., Gumpertsberger, E., Buerkert, A., (2009). Grazing itineraries and forage selection of goats in the Jabal al Akhdar Mountain range of northern Oman. *J. Arid Environ,* (73), 355-363

- Schlecht, E.; Hulsebuch, C.; Mahler, F.; Becker, K. (2004). The use of differentially corrected global positioning system to monitor activities of cattle at pastures. *Applied Animal Behaviour Science*, (85), 185-202.
- Sickel, H.; Ihse, M.; Norderhuag, A.; Sickel, M.A. (2004). How to monitor semi-natural key habitats in relation to grazing preferences of cattle in mountain summer farming areas. An aerial photo and GPS method study. *Landscape an urban planning*, (67), 67-77.
- Stergiadis, S., Zoua, C., Chena, X., Allene, M., Willsa, D., Yana, T. (2016). Equations to predict methane emissions from cows fed at maintenance energy level in pasture-based systems. *Agricultural Ecosystems and Environment*, (220), 8-20.
- Tedeschi, L.O. (2006). Assessment of the adequacy of mathematical models. *Agr. Syst.* 89, 225- 247.
- Torell, D T., (1954). An oesophageal fistular for animal nutrition studies. *Journal of Animal Science*, 13, 878-884.
- Undersander, D., Mertens, D.R. Y Thiex, N. (1993). Recommends forage analyses procedure. National Forage Testing Association, USA. (<http://www.foragetesting.org/labprocedures.php>).
- Ungar, E.D.; Henkin, Z.; Gutman, M.; Doley, A.; Genizi, A.; Ganskop, D. (2005). Interference of animal activity from GPS collar data on free-ranging cattle. *Rangeland Ecol. Manage.* (58), 256-266.
- Universidad Nacional Autónoma de México UNAM, (2012). *Introducción a la Zootecnia, Capitulo 3 Zootecnia de Bovinos Productores de Leche*, 2° Edición, México, D.F.
- Vallentine JF (1990). *Grazing manegement*. San Diego, USA. Academic Press, INC Publishers.
- Van Oort, B.E.H., Tyler, N.J.C., Stireheier, P.V., Stokkan, K.A., (2004). The performance and validation of a data logger for long-term determination of

- activity in free-ranging reindeer, *Rangifer taradus* L. *Appl. Anim. Behav. Sci.* (89), 299-308.
- Vieyra-Alberto R. (2016). Estrategias de alimentación con base en el pastoreo para modificar el perfil de ácidos grasos en leche. Tesis Doctoral. Posgrado en ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Vieyra-alberto R, Ignacio Arturo Domínguez-Vara, José Luis Bórquez Gastelum Carlos Manuel Arriaga-Jordán, Ernesto Morales-Almaráz. (2016). Efecto del aceite de soya sobre la concentración de ácidos grasos vaccenico y ruménico en leche de vacas en pastoreo. *Agrociencia* (Aceptado 09 noviembre de 2016).
- Watanabe, S., Izawa, M., Kato, A., Ropert-Coudert, Y., Naito, Y., (2005). A new technique for monitoring the detailed behaviour of terrestrial animals: a case study with the domestic cat. *Appl. Anim. Behav. Sci.* (94), 117-131.
- Welch G.J., Hooper P.A., (1993). Capítulo 5 Ingestión de alimentos y agua, en: *El Rumiante: fisiología digestiva y nutrición*. Editorial Acribia, S.A, Zaragoza España.
- Weston R.H, (1982). Animals factors affecting feed intake. *Nutritional Limits to Animals Production From Pasture*, J. B. Hacker, pp 183-98. Farnham Royal Commonwealth Agricultural Bureaux.
- Yoda, K., Naito, Y., Sato, K., Takahashi, A., Nishikawa, J., Ropert-Coudert, Y., Kurita, M., Le Maho, Y., (2001). A new technique for monitoring the behaviour of free-ranging Adelie penguins. *J. Exp. Biol.* (204), 685-690.
- Zorrilla, J. (1979). Determinación del consumo voluntario en condiciones de libre pastoreo. En: *Manual de Técnicas de Investigación en Nutrición de Rumiantes*. Depto. de Nutrición Animal. INIP-SARH.

XIII. ANEXOS

Anexo 9.1. Formato para registro de actividades de las vacas en la pradera.

Vaca (arete): _____ Hora de inicio: _____ → Fecha: _____ ¶



Hora*	Intervalo*	Actividades*
*	*	Mordidas por minuto:*
	*	Mordidas por minuto:*
	*	Mordidas por minuto:*
	*	Rumia por minuto:*
	*	Rumia por minuto:*
	*	Rumia por minuto:*

¶

Hora de inicio*	Actividades generales*	Hora de término*	Veces*
*	*	*	*